Tabela dos valores de ensaio

	Resistência de escorregamento interior dos terrenos (*)	Atrito (**) Coef.te	Atrito (**) Ângulo	Coesão Kg/cm² (***)
1	Areia fina, piloada, seca	0,649	33°	
2	Areia grossa, solta, seca	0,570	29 1/2°	
3	Areia grossa, fortemente apiloada, húmida	0,620	32°	
4	Barro aluvionário conforme a percentagem de pedra e areia	0,420 0,680	23° 34°	
5	Barro amarelo fino (colhido dum escorregamento em talude)	0,360	20°	0,05
6	Barro amarelo da China (a)	0,308	17°	0,04
7	Argila cinzenta gorda colhida dum escorregamento de um canal de navegação	0,185	10 1/2°	0,05
8	Argila cinzenta	0,323	18°	0,025
9	Argila muito compacta com núcleos de areia do mar do Norte	0,270	15°	0,05
10	Argila cinzenta arenosa (Suécia)	0,465	25°	—
11	Argila cinzenta gorda (Ponte sobre o pequeno Belt-Dinamarca)	0,340	19°	0,06
12	Argila cinzenta acastanhada (clai) (Hamburgo)	0,316	17 1/2°	0,10

Resistência de escorregamento entre terrenos e corpos maciços

	Espécie	Atrito Coeficiente	Ângulo (**)
13	Placa de betão feita sobre a cofragem e tendo a aspereza desta, escorregando sobre areia grossa (vidé n.º 2)	0,518	27 1/2°
14	Placa de betão feita directamente sobre areia grossa	0,600	31°
15	Placa de betão feita sobre a cofragem, escorregando sobre argila (clai) (vidé n.º 12)	0,305	17°
16	Placa de betão feita directamente sobre argila (clai)	0,388	21°

(*) Determinado pelo ensaio normal.
(**) Arredondado a 1/2 grau.
(***) A coesão não foi considerada, no caso de haver só um pequeno valor dificilmente determinável.
(a) Este barro é formado por poeiras dos desertos do norte da China que o vento e as águas transportam para a foz dos rios chineses.

ACABA DE APARECER:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENG.º CARVALHO XEREZ

Prospecção mineira e zonas geotectónicas na metalogenese ibérica

PELO DR. ANDRÉ SCHNEIDER
Ex-Assistente dos Profs. P. Ramdohr e H. Stille
Universidade de Berlim

C. D. 622.192.2

I PARTE — INTRODUÇÃO

Um problema de particular actualidade: a prospecção mineira científica.

Alguns aspectos da evolução dos conceitos geológicos: as «facies mineralógicas» — a «ultrametamorfose» ou diferenciação pseudo-magmática — os «EK» nos processos de difusão e migração iónica — a «película intergranular» na metamorfose regional — os processos de metalogenese magmática e metamórfica («secreção lateral») os sistemas coloidais na metamorfose regional e na metalogenese.

Um problema de particular actualidade:

Vencidas as crises que marcam os desvios da sua evolução, a humanidade encontra-se perante um mundo que se lhe apresenta profundamente transfigurado. Procura então rever com particular desvelo os seus conhecimentos básicos da Natureza, no intuito dum ajustamento das suas actividades e duma sanação da sua organização futura.

No domínio técnico, que hoje revela toda a sua crua importância para o destino da humanidade, sempre se tem manifestado, após as épocas de crise, a grande preocupação de *sondar novamente as reservas naturais em matérias primas minerais,* que entretanto se foram tornando aproveitáveis, tanto graças ao progresso científico e técnico, como às modificações estruturais da geografia humana e da política económica.

Assim, nos anos de transição para uma vida económica normalizada, observa-se sempre um *recrudescimento da prospecção mineira,* enquanto que devido a confusão dos mercados, se verifica certa *estagnação da produção mineral.* Estas circunstâncias encontram a sua explicação no facto de, durante uma guerra, não haver espaço para empreendimentos a longo prazo, como a prospecção mineira, e de resultar daí inevitàvelmente grande desproporção entre o aumento do consumo e os trabalhos preparatórios que garantam o respectivo nível de produção.

Já *depois da outra guerra* produziram-se, como consequência da onda de prospecção mineira, importantes deslocações dos centros de produção de vários minérios. No que respeita ao *cobre,* lembramos a industrialização da área do Catanga (Rodésia do Norte — Congo Belga), o rápido desenvolvimento das minas de Braden — El Teniente (Chile), a descoberta de cerca de 200 jazigos do tipo «disseminated porphyry copper» na Ásia Central (áreas de Counrad, Almalyk, Bos'chekul, etc.) [1].

Além do cobre, houve descobertas sensacionais de jazigos que revolucionaram a economia e indústria de outros metais. Cita-

[1] N. Nakownik — Publ. of Sovjet Geol. — 1936.

mos as descobertas dos jazigos de rádio de Chingolobwe (Congo Belga) e de La Bine Point (Canadá), do gigantesco jazigo de molibdénio de Climax (U. S. A.), do «Merensky-reef» platinífero do Bushveld (Transvaal), das formações niquelíferas da Nova-Caledónia francesa e de Peetsamo (Finlândia), etc. . . .

Manifestou-se ao mesmo tempo um interesse talvez demasiadamente vivo pelos *métodos geofísicos* de pesquisa, cuja adopção frequentemente exclusiva e indescriminada para os estudos e pesquisas dos jazigos metalíferos teve por resultado ficarem esses métodos ràpidamente desacreditados, embora nem sempre com justificação.

Na época presente, há fortes razões para estarmos preocupados com o futuro abastecimento dos mercados mundiais de alguns metais.

Nos sectores da economia dos metais onde houve nos últimos 25 anos renovações notáveis, devidas à descoberta dos jazigos acima mencionados, não se notam ainda indícios de tensão. Por outro lado, cerca de metade do consumo mundial de *chumbo* dos últimos 50 anos foi fornecida apenas por três distritos mineiros (Tri-State, U. S. A.; Broken Hill, N. S. Wales; Broken Hill, Rodésia do Norte), cujas reservas fortemente diminuídas não permitem já há anos manter o antigo nível de produção.

No mercado do *antimónio* nota-se uma tensão que se manterá até uma estabilização de preço num nível superior permitir o aproveitamento industrial de numerosos jazigos de concentração metálica e extensão mais reduzida.

As reservas de *cassiterite* boliviana foram avaliadas num total de 520.000 toneladas de estanho-metal no ano de 1940 ([2]), o que representa apenas o suficiente para garantir a manutenção da produção boliviana no nível dos últimos anos, ainda até 1952. Prevê-se um empobrecimento considerável dos aluviões estaníferos da Malaia e Indonésia dentro do mesmo prazo.

Por fim, enquanto continuar a idade do ferro, o abastecimento em *volfrâmio* não pode deixar de se tornar cada vez mais difícil, sendo também muito pouco provável que a China volte a ocupar a antiga posição dominante neste sector, com a mesma importância.

Não deixará, por conseguinte, de se verificar nos nossos dias, embora noutros sectores, uma repetição dos fenómenos evolutivos da economia mineira que marcaram o após guerra de 1918. De facto, já se anunciaram projectos de prospecção submarina de grande envergadura na Califórnia, no Golfo da Biscaia, no Mar Cáspio, etc., etc. Organizam-se presentemente expedições para explorar as riquezas minerais do Antárctico, e a América, sempre na vanguarda do progresso técnico, vira já os olhos para os metais dos planetas mais próximos. . .

Em Portugal, onde abundam particularmente os jazigos dos metais cujas reservas mundiais evidenciadas até esta data ostentam — como acabamos de mostrar — forte declínio, a indústria mineira encontra-se presentemente no começo duma época próspera de florescimento prolongado.

Alguns aspectos da evolução dos conceitos geológicos:

Os empreendimentos de prospecção, que constituem o prelúdio do incremento da actividade mineira, apresentam-se hoje sob um aspecto profundamente diferente dos anos imediatos à guerra de 1914-1918.

Em comparação com o passado, as probabilidades de descoberta de jazigos metalíferos por mero acaso são hoje incomparàvelmente mais escassas, e o sucesso de qualquer empreendimento de prospecção, ou mesmo de simples selecção de objectivos mineiros, depende inteiramente da perfeição das bases científicas em que assentem os respectivos trabalhos, e particularmente o planeamento dos mesmos.

Em todos os seus ramos, as ciências geológicas tomaram nos últimos 25 anos um rápido desenvolvimento, contribuindo com inumeráveis critérios novos e firmemente estabelecidos, para o aperfeiçoamento dos

([2]) F. Ahlfeld-Metal und Erz — 1940, 37, 173-176.

métodos de diagnose nas tarefas de prospecção regional.

Assim, perante os meios modernos, a prospecção mineira tornou-se uma tarefa que exige aturado trabalho de muita precisão.

Os inumeráveis critérios de análise que a *geotectónica comparada* (Stille, Obrutschev, Argand, Staub, Kober, Tetjaev, Magnusson, Geevers, etc. . . .) nos proporciona hoje em dia, quando aplicados com alguma prática e discernimento, já permitem esboçar as interrelações fundamentais de causalidade entre os fenómenos geodinâmicos e geoquímicos que determinam e acompanham a formação de concentrações metálicas no sub-solo de qualquer região, mesmo quando o estado de conhecimento geológico da mesma se encontra ainda pouco adiantado. Torna-se deste modo possível evidenciar e localizar as áreas cujo estudo detalhado merece prioridade, deduzir das relações geotectónicas fundamentais os critérios de significado regional que são, por sua vez, indispensáveis para interpretar as observações locais, etc., etc.

As «facies mineralógicas» e a «ultrametamorfose»:

A geotectónica comparada e o estudo do metamorfismo das rochas são dois domínios da geologia, cujo desenvolvimento acusa uma interdependência particularmente íntima. Por isso, resultou dos rápidos progressos da geotectónica a necessidade cada vez mais imperativa duma revisão dos conceitos básicos sobre o metamorfismo enunciado por Becke-Grubenmann (*«lei dos volumes»* — 1904), conceitos nos quais se baseava uma sistemática que se tinha tornado prematuramente clássica (sistemática dos minerais críticos da epi-, meso- e catazona de Grubenmann-Niggli — 1921), por não constituir complemento directa e universalmente aplicável às análises geotectónicas (Tilley 1925 e Read 1937: análises geotectónicas das zonas geosinclinais da Escócia por meio das séries de rochas metamórficas «isofísicas e isoquímicas»).

Iniciada por V. M. Goldschmidt (*«lei das fases mineralógicas»* 1912) essa revisão exigia em primeiro lugar um esclarecimento definitivo da natureza exacta dos processos de recristalização nos agregados minerais, estudos que foram levados a efeito principalmente por Wegmann ([3]), Sander ([4]), Eskola, Backlund, Tamann, Boydell, etc. Apurou-se a importância reduzida e o papel indirecto desempenhado nestes processos pela *pressão,* considerada anteriormente (Becke) como factor determinante.

De facto, os efeitos exercidos pela pressão na *metamorfose regional* das rochas são apenas de natureza idêntica aos que se dão nos processos de diferenciação magmática: — consistem em impedir a migração dos componentes voláteis cuja presença no sistema metastável, que representam todas as rochas, facilita as reacções de equilíbrio entre os componentes do mesmo, constituindo ao mesmo tempo um meio particularmente adequado para processos de difusão molecular (*«diferenciação metamórfica»* — Stillwell; 1922), — e abaixando a temperatura da cristalização. Além disso, notamos que a pressão tem ainda uma acção catalítica importante nas reacções entre fases minerais no estado sólido, processos sempre exotérmicos, cuja importância na metamorfose por simples recristalização — ou «metamorfose normal» — não pode ser negada.

Chegou-se finalmente à conclusão de que não há diferença essencial entre os processos de metamorfose e os processos de cristalização fraccionada dos magmas, sendo as leis que governam os equilíbrios químicos o fundamento natural em que se deve basear a interpretação genética e a sistemática das rochas tanto magmáticas, como metamórficas.

Esta relação patenteia-se brilhantemente numa série de recentes estudos sobre rochas de aspecto e de quimismo granítico de várias regiões (Wegmann ([3]), Wurm ([5]), Holmquist, Hjelmquist ([6]), Scheumann, etc. . . .), que se

([3]) C. E. Wegmann — Geol. Rundschau — 1935 — 26, 305-350.

([4]) B. Sander — Gesteinsgefügekunde — 1932.

([5]) A. Wurm — Zeitschr. Vulkanol. — 16 — 1935.

([6]) Sv. Hjelmquist — Sveriges Geol. Unders. — Ser. C — 1938 — Nr. 413.

averiguaram de natureza sedimentogénia, representando quer uma facies de «ultrametamorfose regional» nalguns casos («granitos *migmatíticos*»), quer o resultado de acção térmica local, noutros («granitos palingénicos»).

Há também *rochas básicas* que ilustram claramente a similitude dos processos magmáticos e metamórficos, o que já foi posto em relevo no estudo de Th. Vogt sobre os jazigos de pirite e as rochas anfibolíticas relacionadas de Suljetelma (1927).

Estudamos recentemente *rochas piroxeníticas* da região de Bragança (Trás-os-Montes), cuja natureza demonstra perfeitamente que esses fenómenos de convergência entre rochas metamórficas e magmáticas se estendem também aos agregados silicáticos de quimismo ultra-básico.

Notemos a esse respeito que P. Eskola — quando enunciou o «princípio de economia na lei das fases mineralógicas» (7), — tinha já presumido a forte probabilidade de existirem muito mais numerosos tipos de rochas silicáticas monominerálicas de origem metamórfica, do que os conhecidos «skarns» ultra-básicos.

Entre os piroxenitos transmontanos destacam-se *dialagites* apresentando uma textura que lembra curiosamente os granitos «rapakiwi» da Finlândia meridional, sendo o espaço intersticial dos macrocristais (até 8,0 cm // (100)) ovóides de cor negra esverdeada de diálage preenchido por um «metasome» (8) anfibolítico de grão fino (fig. 2 e 2 a). Formam pequenas faixas incluídas numa espessa camada suavemente inclinada de serpentina dunítica, separadas, por uma dezena de metros, do plano de contacto dos anfibólitos no tecto da camada serpentino-dunítica.

Partindo do princípio que o número dos minerais — ou fases mineralógicas — singenéticos representando um estado definido de equilíbrio químico numa rocha, *não pode ser superior ao número dos componentes básicos do sistema químico correspondente* («lei das fases mineralógicas» *) — V. M. Goldschmidt — 1912) — estudamos a sucessão dos diferentes estados de equilíbrio atravessados pelos sistemas representados nas dialagites e nas várias outras rochas congenéticas que as circundam. A ordem de sucessão desses estados de equilíbrio patenteia-se nas relações cronológicas de formação entre os minerais «não-congressíveis», pertencentes a «facies mineralógicas» diferentes, que entram na composição mineralógica da rocha considerada.

Averiguamos por este meio que tanto o sistema diabásico encaixante — $(Mg, Fe)_2 Si_2 O_6$ — $Al_2 Si O_5$ — $Ca Si O_3$ — como o sistema ultra-básico peridotítico — MgO — FeO — SiO_2 — sofreram, em condições idênticas (P — T), pelo menos dois processos sucessi-

(7) P. Eskola — in «die Entstehung der Gesteine» — Berlin, 1939.

(8) Foram propostos por H. C. Boydell («Metasomatism and the linear force of growing crystals» Econ. Geol. 1926 — 21 — 1 · 55) os termos de «palasome» e «metasome» para distinguir num agregado mineral complexo a associação de minerais preexistentes — o «palasome» —, da paragenese de formação posterior — o «metasome» — que a substitui parcialmente, ou até ficarem apenas ínfimos vestígios da primeira. W. Lindgren fez frequentemente uso destes termos

(*) Assenta neste princípio a sistemática moderna das rochas metamórficas, baseada sobre as «*facies mineralógicas*», ou associações críticas de espécies mineralógicas representando um estado definido de equilíbrio químico. Lembramos que o mesmo equilíbrio químico pode existir tanto sob condições P — T, como $P_1 - T_1$, sendo $P \neq T_1$ e $T \neq T_1$ (Clausius-Clapeyron), o que significa, em relação às «facies mineralógicas», que estas não representam séries isofísicas no sentido de epi- meso- e catazona. Por conseguinte, podem as «facies mineralógicas» servir também de critério para classificação das rochas magmáticas.

Um primeiro ensaio de classificação das «facies mineralógicas» foi recentemente apresentado por P. Eskola (8), que podemos considerar como o pioneiro e exponente mais marcante desta nova sistemática petrológica.

Baseando-se na acção dissociativa do CO_2 sobre os silicatos nas regiões de alta pressão, Korjinsky (vários trabalhos cuja publicação principiou em 1938) pretende dar uma interpretação numérica das condições P — T correspondentes a determinadas parageneses silicáticas das rochas de metamorfose regional. Do seu primeiro esboço sistemático publicado em 1941, e no qual são tomadas em consideração zonas de pressão de 1.000 em 1.000 metros, até 6.000 metros de profundidade, decorre que a maioria das «facies mineralógicas» pertencem a regiões da crosta terrestre de profundidade inferior aos 6.000 m.

vos de simples recristalização, relacionados com movimentos orogénicos, posteriormente à intrusão dos dunitos (fig. 1, 1 a e 2, 2 a). Destes processos de recristalização resultou a formação do «metasome» anfibolítico de grão fino das dialagites, cuja composição e natureza se verificaram inteiramente análogas ao anfibólito (fig. 1 e 1 a) que contacta com as serpentinas. Tornou-se assim evidente que tanto os anfibólitos encaixantes, como as dialagites, constituem meramente diferentes «facies mineralógicas» do mesmo sistema de quimismo diabásico, e que a formação das dialagites foi apenas o resultado duma deslocação de maior amplitude do equilíbrio químico, relacionada com processos de carácter local (termometamorfose).

Devem, por conseguinte, ser consideradas as dialagites de Bragança como retalhos metamorfisados (*) da rocha encaixante, arrancados pela intrusão do magma peridotítico.

Analisando o profundo escalonamento dos andares geotectónicos no percurso da faixa ofiolito-peridotítica transmontana, torna-se patente a ligação genética dos anfibólitos de Bragança com os gabros horneblendíticos de tipo diabásico da região de Vinhais, o que nos autorizou a concluir, em último lugar, *que as dialagites que estudamos são derivadas destes gabros.*

Notamos ainda que o desenvolvimento invulgar dos macrocristais de diálage se explica pela acção catalítica da H_2O contida na horneblenda do gabro diabásico preexistente, e que foi libertada pela recristalização. Vários fenómenos de concentração de óxidos de Fe-Ti e de sulfuretos que se observam nesta rocha piroxenítica — e que foram em geral consideradas anteriormente como fenómenos de «autopneumatolise» — são também seguramente relacionadas com a libertação da H_2O que resultou da metamorfose do gabro para piroxenito (**).

Pelos mesmos meios, reconhecemos que as *faixas monominerálicas enstatíticas e bronzíticas* que aureolam as dialagites, correspondem genèticamente aos *anfibólitos cummingtoníticos e tremolíticos,* que se formaram a pouca distância, no contacto da intrusão peridotítica com os gabros encaixantes, *transformados posteriormente* em anfibólitos epidoto-albíticos por recristalização regional. (***)

De facto, tanto as enstatitites, como as rochas monominerálicas de cummingtonite ocupam espaços anteriormente ocupados pelo gabro e representam apenas facies diferentes dum mesmo sistema; — por metamorfose posterior, ficou a enstatite quase totalmente *pseudomorfisada por antofilite,* que substituiu também simultâneamente a cummingtonite, formando com esta um agregado de imbricação.

Estas circunstâncias oferecem-nos uma óptima oportunidade de estudar também algumas outras relações genéticas entre as rochas ultrabásicas e contribuir com alguns elementos para o muito discutido problema dos fenómenos de «estratificação» magmática das rochas básicas e ultrabásicas dos

---

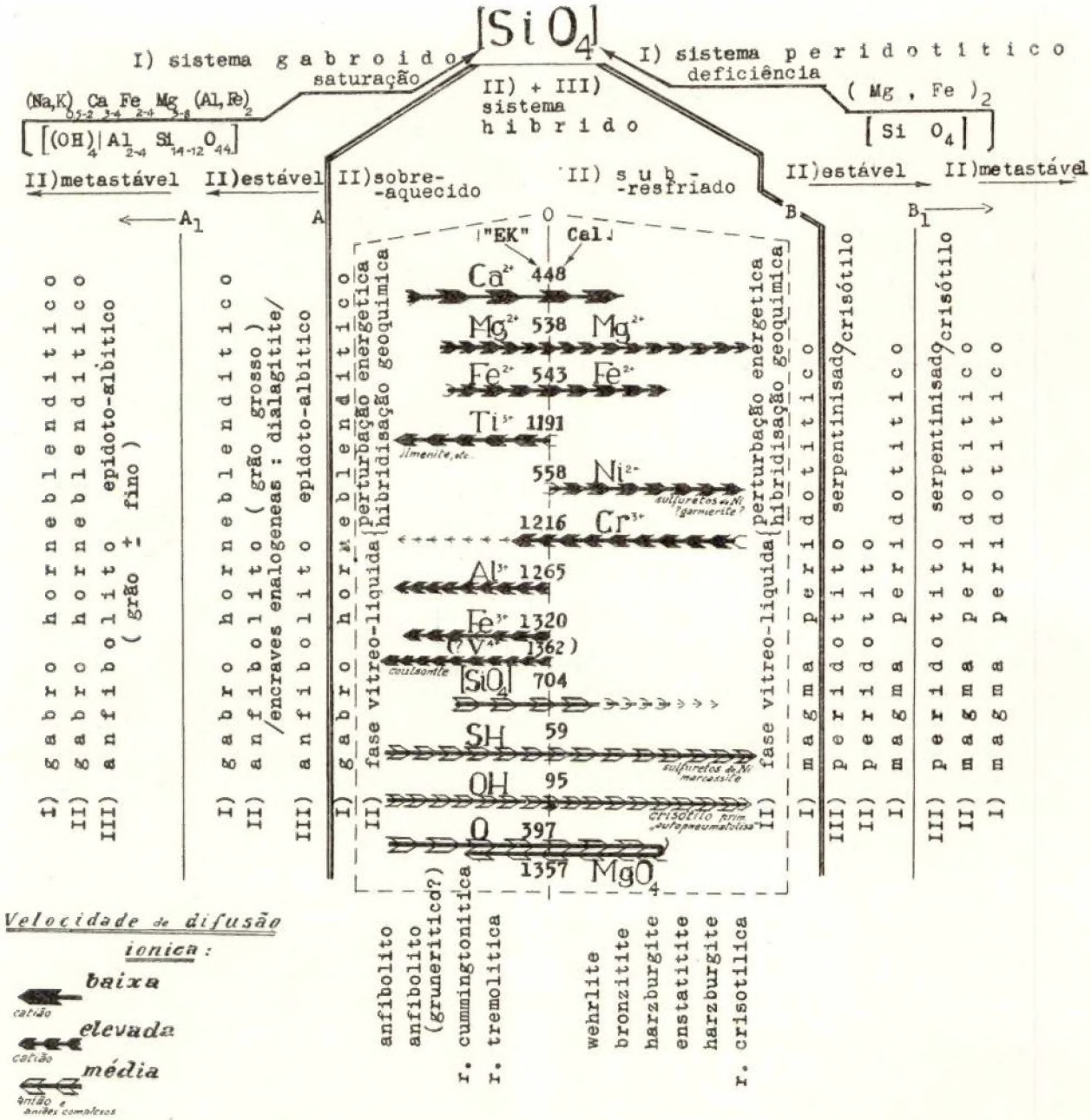
(*) Encraves enalogéneos.

(**) Aumentando ainda mais a concentração de H_2O formam-se por fim «magmas secundários» de elevada mobilidade, que intrudem ± perpendicularmente aos «pseudo-estratos» de diferenciação («pipes» hortonolíticos e piroxeníticos de Lydenburg e Rustenburg, Bushveld) — fenómeno que se observa, embora em escala reduzida, no Cabeço das Beatas (Bragança) e em Samil (id.).

(***) Os amfibólitos cummingtoníticos e tremolíticos resultaram da metasomatose magnésica que sofreram os gabros diabásicos ao contacto da intrusão do magma peridotítico.

Lembramos a classificação dos silicatos magnésicos mencionados:

Grupo da olivina:	Forsterite Mg_2 [Si O_4] romb.
» dos piroxenes:	Enstatite Mg_2 [Si_2 O_6] romb. Clinoenstatite Mg_2 [Si_2 O_6] monocl. (Diopside) $(Mg, Ca)_2$ [Si_2 O_6] monocl.
« das anfibolàs:	Antofilite Mg_7 [$(ON_2 \mid Si_8$ $O_{22})$ romb. Cummingtonite Mg_{14} [$(ON)_2 \mid S_{16}$ O_{44}] monocl. Tremolite $(Mg,Ca)_{14}$ [$(OH)_2 \mid Si_{16}$ O_{44}] monocl.



Esboço 1: **Migrações iónicas e diferenciação metamórfica num contacto gabro-peridotito**

Cabeço das Beatas, Bragança, etc.

Períodos da evolução: I) Antes e no momento da intrusão peridotítica
II) Durante e logo a seguir à intrusão peridotítica
III) Metamorfose regional posterior (andar geotectónico diferente, postorogénico).

Velocidade de difusão iónica: avaliação grosseira das velocidades relativas dos iões em presença.

$$\left(\text{Base teórica da avaliação (**)}: \frac{E - \Delta E - EK_x^{cal}}{R_x^i}\right) \quad x = \text{elemento}$$

$E = E_1 - E_2$; E_1 = coef. energ. teor. do equilíbrio peridotítico
E_2 = coef. energ. teor. do equilíbrio gabroido

$$\Delta E = \frac{E}{t' \cdot T'} - \frac{E}{t'' \cdot T''}$$

t = tempo
T = temperatura
(P = 1 = pressão)

N. B.: Em relação ao valor absoluto da temperatura nestes processos, lembramos que Ehrenberg conseguiu obter forsterite por reacção no estado sólido entre MgO e SiO_2 à temperatura de 620° C.

(**) Vid. página seguinte.

«critical levels» do Bushveld, do «Great Dyke» da Rodésia do Sul, do «lopólito» de Stillwater (Montana, U. S. A.), de Bay of Island (Terra Nova), etc.

Os «EK» nos processos de difusão e migração iónica:

O estudo que temos empreendido neste sentido apresenta ainda algumas lacunas importantes. Contudo, destacam-se desde já algumas verificações sobre relações de interdependência entre as deslocações do potencial energético na zona de perturbação termodinâmica do contacto, e as modificações constitucionais simultâneas sofridas pelos sistemas em presença - ou seja MgO - FeO - SiO_2 (sistema peridótico não saturado) e $(Mg,Fe)_2Si_2O_6$ - Al_2SiO_5 - $CaSiO_3$ (sistema gabroido saturado).

Estas relações indicam que houve migração de iões de baixo «EK» (*) em direcção às regiões de «deficiência energética», ou regiões onde a polarização energética do sistema químico, e consequentemente a cristalização, — não se podia realizar devido à deficiência de energia livre no seu meio ambiente *(zona de «subresfriamento»)*.

Estes processos de migração iónica, que conduzem a uma remodelação da constituição dos sistemas em presença *(«hibridização»)*, não são unilaterais, mas constituem evidentemente processos de intercâmbio, ou correntes "+" e "—" dirigidas em sentidos opostos *(Esboço 1)*.

(*) Os «EK» (A. E. Fersmann — 1934) são coeficientes energéticos, calculados numa base teórica, que representam a energia posta em liberdade pelos iões quando estes, abandonando o estado estático-disperso, se incluem por polarização recíproca das suas cargas eléctricas numa estrutura cristalina (= rede cristalina atómica). O cálculo dos valores «EK» refere-se a 1 Mol da respectiva substância à temperatura de zero absoluto, sendo necessário, multiplicá-los por 256 para obter o equivalente em grandes calorias.

JENSSEN (1938) demonstrou que estes coeficientes teóricos correspondem de facto à energia posta em liberdade quando se dá a polarização das cargas + e — dos catiões e aniões numa estrutura cristalina. As diferenças entre os valores calculados «EK» e os valores observados são inferiores a 6 %.

Raios dos principais iões dos sistemas peridotítico e gabroido ("Ri")

(V. M. Goldschmidt, Pauling, Kordes, Fersmann, etc.)

Catiões:

Si^{4+}	0,39 Å	Ti^{3+}	0,69 Å
Al^{3+}	0,57	Ni^{2+}	0,78
Cr^{3+}	0,64	Mg^{2+}	0,78
V^{4+}	0,65	Fe^{2+}	0,83
Fe^{3+}	0,67	Ca^{2+}	1,06

Aniões:

MgO_4^{-6}	3,40 Å	SiO_4	2,90 Å
FeO_4^{-5}	3,25	SH	1,99 1,33
TiO_4	3,23	OH	1,32
CrO_4	3,00	O	

Nota referente à página anterior.

Verifica-se, ao mesmo tempo, que a velocidade de propagação dos catiões, representada pelas distâncias que os mesmos percorrem, é função dos «EK» e dos "Ri" respectivos. Porém, no caso do oxigénio (EK = 1.55), a relação torna-se no conjunto bastante incerta (*) sendo assim impossível por enquanto representar estes processos de migração por meio de diagramas ± exactos baseados sobre os valores numéricos «EK».

Apesar disso, podemos salientar desde já a existência duma relação definida entre a baixa carga do oxigénio e a posição que ocupam as faixas de óxidos de Fe-Ti e de cromite em relação às faixas monominerálicas silicáticas.

Das interferências que se deram entre a hibridização disharmónica dos dois sistemas iniciais e as deslocações de potencial energético, resultaram fenómenos de polarização repentina e cristalização. O modo de coordenação dos tetraedos $[SiO_4]$ nas estruturas cristalinas, que resultaram destes equilíbrios químicos ocasionais (interferências), apresenta-se-nos como a expressão mais clara e simples dos factores energéticos que comandaram a ordem de sucessão nas sequências de cristalização das várias «facies mineralógicas». Assim, observamos na região de Bragança, num espaço de poucos metros, faixas monominerálicas constituídas por forsterite → enstatite → cummingtonite, ou seja $Mg_2[SiO_4] \rightarrow Mg_2[Si_2O_6] \rightarrow$ $\rightarrow Mg_{14}[Si_{16}O_{46}]$ (**).

Podemos explicar deste modo, a repetição de «estratos» monominerálicos idênticos numa mesma série de «diferenciação», sem invocar intrusões sucessivas de magmas pre-diferenciados.

Desde que admitimos que a formação dos «estratos» monominerálicos tem por origem fenómenos ocasionais de interferência nos processos de migração dos iões na zona de contacto, podemos considerar a formação das rochas dos tipos harzburgíticos, wehrlíticos, etc., como sendo o resultado de fenómenos de polariazção devidos aos efeitos energéticos *repercussivos* da cristalização das rochas monominerálicas. De facto, que o saibamos, nunca foram observadas faixas juxtapostas de rochas monominerálicas ultra-básicas diferentes. Portanto, podemos distinguir fenómenos de «polarização de I. e de II. ordem».

Para precisar a natureza destes processos de diferenciação por migração de iões, esboçaremos sucintamente a evolução da zona de contacto dunito — gabro. Sabemos que simultâneamente com a intrusão do magma dunítico, forma-se a determinada distância da superfície de contacto uma zona de polarização, onde o sistema $MgO - FeO - SiO_4$ passa repentinamente ao estado cristalino. Enquanto continua dum lado deste «muro dunítico» a intrusão do magma, fica o espaço situado no outro lado ocupado por um meio que, apesar da sua elevada contractura, que resultou da «diluição» do potencial energético (subresfriamento), apresenta as propriedades duma fase líquida (matéria vítrea sobreaquecida) num estado de intensa perturbação termodinâmica. O *gabro* que formava antes da intrusão do magma dunítico uma fase cristalina de equilíbrio químico metastável, transformou-se então — junto ao contacto — num meio de mesma natureza vítreo-dispersa. Por conseguinte, os processos de migração instalaram-se tanto dum, como do outro lado da superfície de contacto.

Como conclusão, salientaremos que as observações e considerações que acabamos de expor — indicam que os fenómenos de convergência entre processos de «ultrametamorfose» e de diferenciação magmática que se verificaram nas rochas de quimismo granítico, *ou* ± ácido de modo geral, também ocorrem entre as rochas de quimismo ultrabásico. Os fenómenos de equilíbrio químico por interferência ocasional entre deslocações de potencial energético e hibridização de dois sistemas químicos devida à migração de iões numa zona de perturbação termodinâmica, explicam muitos fenómenos observados nos complexos «magmáticos» do tipo Bushveld (inversões na sequência de cristalização da olivina e dos piroxenos, repetições de «estratos» ± idênticos numa

(*) Devido a formação de aniões complexos.

(**) Também $Mg_{14}[(OH)_4 \mid Si_{16}O_{44}]$.

mesma série, faixas de cromite no interior das faixas piroxeníticas, etc.).

Se nos atardamos sobre estes fenómenos de convergência entre rochas metamórficas e magmáticas, foi porque os respectivos problemas são da maior importância para os estudos metalogenéticos, e constituem o campo de investigações geológicas que sem dúvida trará, num próximo futuro, os mais surpreendentes resultados. Como salientou recentemente P. Eskola ([7]), podemos mesmo esperar por rectificações revolucionárias nos nossos conceitos actuais sobre a genese das rochas «ígneas» em geral — assim como, evidentemente, dos jazigos metalíferos ligados às mesmas.

A «película intergranular» na metamorfose regional:

No quadro destas investigações modernas, apresentam-se com particular relevo os estudos sobre os fenómenos que se produzem na superfície dos cristais que compõem um agregado mineral em estado de flagrante desequilíbrio químico. O conjunto destas superfícies apresenta-se como um campo de valências livres dos átomos exteriores das estruturas e comporta-se consequentemente como uma *fase líquida* (= «película intergranular» de Wegmann). Ora, seja qual for a natureza e a posição geológica duma rocha, devemos considerá-la sempre como um *sistema químico* cujos produtos se encontram, de modo permanente, num estado *metastável,* com velocidade de recristalização (ou dissociação) muito variável, indo da fracção dum segundo até eras geológicas inteiras. À medida que aumenta a amplitude do desequilíbrio energético do sistema, em relação com quaisquer processos geodinâmicos passageiros (fases paroxismais de diastrofismo, vindas de magmas, orogenias, etc.), cresce simultâneamente a velocidade de dissociação, desenvolvendo-se — a partir da «película intergranular» — *um magma intersticial.* Entram então em jogo processos de difusão molecular ou iónica, estabelecem-se novos sistemas e novos equilíbrios químicos, produzem-se — pelo efeito da pressão orogénica — migrações importantes do «magma intersticial», que pode chegar a ser expelido por completo do espaço onde se tinha formado *(= magmas secundários autoctones e alotoctones).*

Perante estes processos de difusão e migração na «película intergranular», torna-se extremamente difícil separar de modo absoluto os processos de metamorfose regional (= «metamorfose normal»), dos fenómenos gerados por metasomatismo.

Os processos de metalogenese magmática e metamórfica:

Existem sem dúvida ligações importantes entre determinados processos metalogenéticos e estas migrações geoquímicas iónicas moleculares, ou mesmo coloidais, que se extendem ± uniformemente sobre vastas áreas da crosta terrestre. Porém, as leis que comandam as migrações e processos subsequentes de concentração dos catiões metálicos na metamorfose regional não são ainda bem definidas e a classificação sistemática destes fenómenos constitui, em relação às tarefas de prospecção regional, um dos mais importantes problemas a resolver nos próximos anos. Até esta data, os mais notáveis trabalhos realizados neste domínio dizem respeito aos jazigos de magnetite da formação leptítica (*) da Suécia central, aos jazigos de pirite, e outros sulfuretos, que acompanham as áreas de intensa metasomatose magnésica regional (**) (Magnusson ([9]), Geijer, Sundius, etc).

Desde que concordamos com a existência de frequentes fenómenos de convergência entre os processos petrogenéticos de diferenciação magmática dum lado, e metamórfica por outro lado, independentemente do tipo de quimismo inicial das rochas ou magmas (migmatites ácidas, básicas e ultra-

---

(*) Segundo os mais recentes trabalhos, as leptites escandinavas são, na sua maioria, derivadas de sedimentos de natureza pelítica (ESKOLA).

(**) Formações de rochas quase-monominerálicas constituídas por cordierite, antofilite, cummingtonite, etc., com quartzo em proporção muito variável.

([9]) N. H. Magnusson: Sverig. Geol. Unders. 1938 — 418 — 1-945.

-básicas), devemostam bém estudar o modo de se manifestarem estas convergências genéticas nos jazigos metalíferos relacionados tanto com as migmatites ácidas, como as básicas ou ultra-básicas.

Como no caso dos estudos puramente petrogenéticos, serviram também aqui as rochas de quimismo ácido, como ponto de partida para o esclarecimento metódico desta questão (leptites). Notamos que os jazigos relacionados com a ultrametamorfose das rochas ácidas apresentam aspectos particularmente semelhantes à pneumatolise de contacto (jazigos de magnetite do tipo dos «skarns»).

Com respeito às rochas básicas, devemos dirigir a nossa atenção especialmente sobre as «*massas piritosas*», ligadas a porfiritos, anfibólitos, etc.... Estes jazigos revestem quase sempre — com excepção do tipo «Meggen» — um carácter de profundo metamorfismo que dificulta imensamente a diagnose da verdadeira origem. Assim, no seu recente Tratado dos jazigos metalíferos, Schneiderhoehn ([10]) optou por uma classificação destes jazigos em sub-grupos baseados sobre o grau da metamorfose ulterior à formação que sofreram as massas de pirite, deixando no segundo plano os critérios genéticos. Em todo caso, não se pode negar que, dentro do complexo circuito geoquímico de migração do enxofre, no qual devem ser incluídos estes jazigos, os fenómenos de convergência genética na formação de elevadas concentrações locais são frequentes.

No caso das pirites do Alentejo (*), segundo os estudos microscópicos que fizemos, o ponto cardial do problema reside na interpretação dos agregados micro — e criptocristalinos de pirite que sofreram, *subsequentemente à metamorfose regional,* vários processos de substituição e simples recristalização, causados pela infiltração de soluções hidrotermais provenientes duma intrusão granítica que não tem ligação geoquímica directa com as próprias massas piritosas. Estas soluções penetraram as massas compactas de pirite microcristalina seguindo fissuras de formação postorogénica, ± perpendiculares às salbandas das camadas piritosas, originando intensos processos metasomáticos segundo os planos paralelos de diferenciação textural das massas de pirite, que, por conseguinte, representam de certo modo a rocha encaixante da mineralização polimetálica derivada de magmas graníticos mais recentes. Temos, nos jazigos de pirites do Alentejo, toda a sequência completa das metalizações magmatogénias hidrotermais em volta de núcleos, ou apofises graníticas, que ficam escondidos abaixo da superfície actual de denudação. O delineamento destas auréolas metasomáticas (zonas de arsenopirite, enargite, calcopirite, esfalerite, galena, tetraedrite, ouro, e estibnite) que circundam as apófises graníticas, constitue um dos problemas mais interessantes para o conhecimento dos jazigos de pirite alentejanos. Como mostraremos mais adiante (III Parte), as relações entre a geotectónica e os fenómenos magmáticos desta região, tornam muito duvidosa a origem magmatogénica da pirite primária. Notemos, que no caso dos jazigos de Jales (Vila Real), presenciámos um problema fundamentalmente idêntico, de complexidade porém ainda muito maior devido ao facto das massas piritosas terem sofrido acções metasomáticas por parte de duas intrusões graníticas sucessivas e de geoquimismo diferente (I. fase metasomática: Cu - Zn - Pb - Ag - Sb - Au; II. fase metasomática: As - Sn - W - Bi - Ag).

Concluimos que seria ainda prematuro considerar as massas piritosas como jazigos «metamorfo-singenéticos», ligados aos processos de metamorfose regional de formações de rochas básicas. Como no caso dos estudos sobre os jazigos ligados às formações leptíticas, devemos procurar os critérios para a solução deste problema em grande parte nas relações destes jazigos com a geotectónica do sistema diastrófico inteiro de que fazem parte. Neste sentido, a Península Ibérica oferece uma base parti-

---

([10]) H. Schneiderhoehn — Lehrbuch der Erzlagerstaettenkunde — Parte I — Jena — 1941 — 854 pp.

(*) S. Domingos, Pomarão; S. João do Deserto, Aljustrel; Louzal, etc.

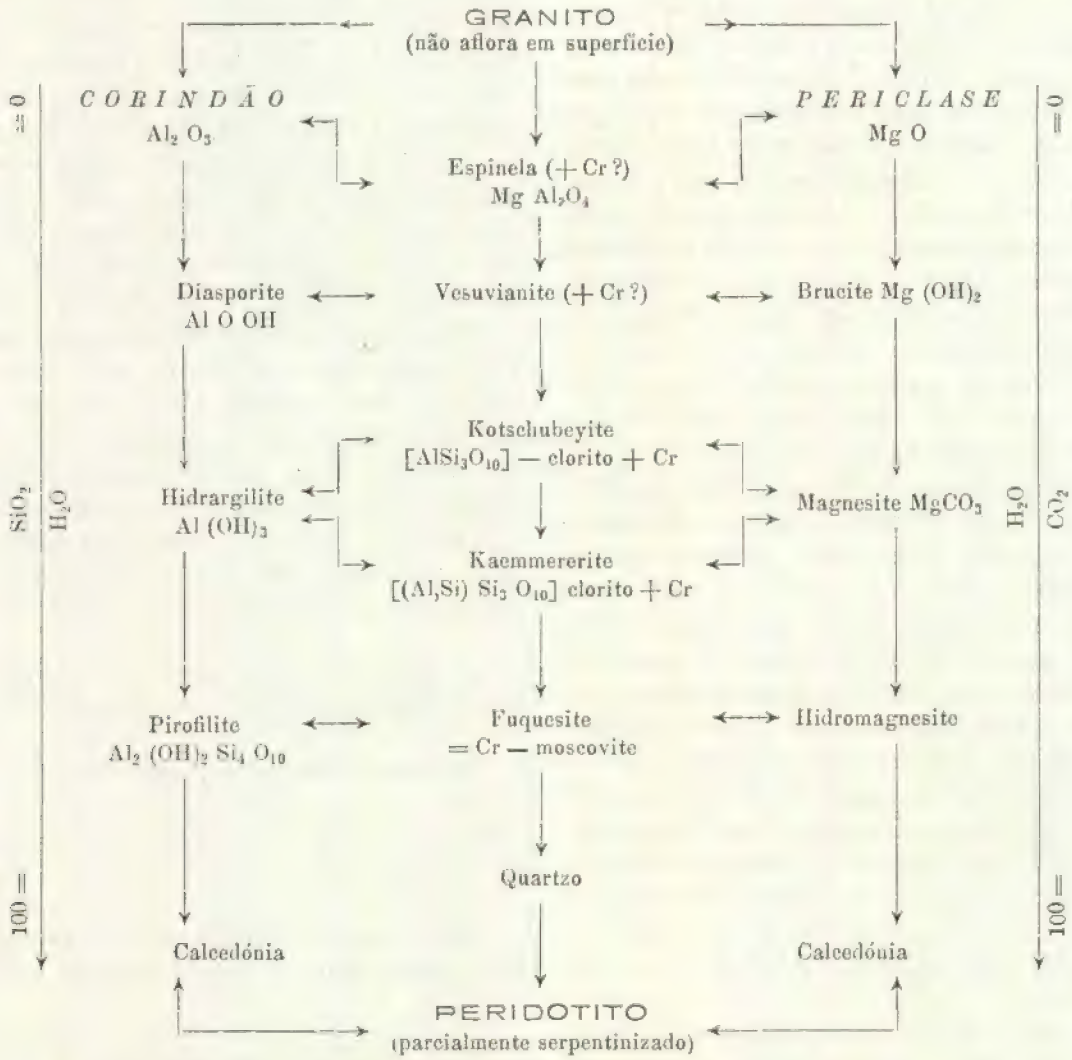
cularmente adequada para realizar tais estudos.

Por fim, consideraremos a questão da *metalogenese em relação à metamorfose regional das rochas ultra-básicas,* referindo-nos para isso a alguns aspectos do complexo serpentino-cromítico transmontano.

A faixa ofiolítica de Vinhais-Bragança-Morais oferece uma ótima oportunidade de correlacionar jazigos de cromite duma grande variedade de tipos genéticos (*), formados em andares geotectónicos diferentes (diferenças nas «facies mineralógicas» das rochas circundantes, etc.). Foi-nos assim possível estabelecer a relação de causalidade entre as fases sucessivas de metamorfose regional (I. fase: gabro → anfibólito epidoto-albítico; II. fase: anfibólito epidoto-albítico → anfibólito quartzo-zoisítico, cujos efeitos foram parcialmente obliterados por um processo de metasomatose granítica na região de Bragança) (**), e os fenómenos

(*) A diversidade marcada de composição química das cromites transmontanas, mesmo quando se trata de cromites de localidades separadas por distâncias insignificantes, ou mesmo provenientes do mesmo jazigo, indica claramente que presenciamos fenómenos de metalização heterogenéticos.

(**) Pela acção térmica e metasomática dum magma granítico, os peridotitos e cromitites de Bragança-Samil sofreram profundas alterações locais, que podemos resumir nas sequências seguintes:



Horizontalmente: *Parageneses ± isotermais observadas no Cabeço das Beatas, Bragança. Diferenciação Al — Mg talvez devida ao modo de transporte diferente (sistemas disperso iónico, molecular e coloidal).*

Verticalmente: *Distância do contacto, resp. Diminuição da acção termometomórfica da intrusão granítica.*

complexos de dissociação e migração da cromite e dos óxidos de Fe-Ti.

Os materiais investigados evidenciaram particularmente a ligação genética entre a I. fase de metamorfose regional, que provocou a serpentinização *crisotílica* dos periodotitos, e a formação simultânea das concentrações cromíticas de tipo *alotoctono,* ou intrusivo, que ocupam geralmente uma posição perpendicular ao plano das salbandas do peridotito e das faixas piroxeníticas.

Considerando a crisotilização dos peridtitos como o resultado da metamorfose regional, encontramos a explicação de vários factos observados nos peridotitos serpentinizados em geral. Salientaremos que o crisólito, que forma as paredes das malhas que caracterizam a textura destas rochas de modo geral, constitui uma ilustração perfeita da «película intergranular» cujo aparecimento marca a passagem de importantes processos de metasomatose ou recristalização. A uniformidade da espessura das películas crisotílicas entre os grãos de olivina em vastas áreas e profundidade extensa, demonstra que se trata dum processo de carácter regional. Assim, vários autores consideram a serpentinização como sendo um fenómeno devido a uma «autohidratação» dum magma peridotítico carregado de H_2O, alegando que a elevada viscosidade da olivina em fusão teria, sem a presença de H_2O, impedido a migração dos magmas peridotíticos. Devemos porém ter em vista que os peridotitos são — pelo menos neste caso — ante-orogénicos, tendo-se comportado durante os intensos dobramentos como uma camada perfeitamente plástica. A presença duma «película intergranular» líquida nos interstícios do agregado de olivina, gerada pela metamorfose regional sinorogénica, teria constituído um meio lubrificante que tornou possível as ínfimas deslocações diferenciais dos grãos de olivina, que no conjunto determinaram a plasticidade do peridotito.

No seu estudo dos ofiolitos escandinavos, Du Rietz mostrou que bastam quantidades reduzidas de sílica para que se realize acrisotilização parcial dos peridotitos, como o indica a fórmula seguinte:

$$\underset{\text{olivina}}{23Mg_{11}FeSi_6O_{24}} + 176H_2O + 38\,SiO_2 + 4O = \underset{\text{crisótilo}}{11H_{32}Mg_{23}FeSi_{16}O_{72}} + 4\,Fe_3O_4$$

Ora, podemos considerar como facto firmemente estabelecido, que tanto H_2O como CO_2 desempenham um papel importante em todos os processos de metamorfose regional. A acção dissociativa de CO_2 sobre os silicatos nas regiões de elevada pressão explica fàcilmente o aparecimento de SiO_2 no processo de serpentinização regional. Com o aumento da tensão interna do CO_2 nas regiões ainda mais profundas da crosta terrestre, entra em jogo nos processos de metamorfismo, ao lado de SiO_2, também Al_2O_3, resultando disso a *cloritização regional dos peridotitos* (Du Rietz, 1936). Finalmente, nas regiões de ultra-metamorfose regional, as peridotites ficam inteiramente substituídas por mármores dolomíticos com vestígios de cromite, alguma tremolite, etc. (Outokumpu, Finlândia, P. Eskola) (*).

Fizemos numerosas observações que demonstram que a acção do CO_2 durante a metamorfose regional não se limitou a provocar a dissolução superficial dos cristais de olivina, mas que a cromite foi igualmente abrangida por estes processos.

Podemos distinguir três tipos fundamentais diferentes de fenómenos produzidos pelo CO_2, sob alta pressão, nas cromites:

a) desagregação mecânica simples, ou fracturação de intensidade variável,

b) desagregação em partículas coloidais, e

c) dissolução, ou dispersão molecular, resp. iónica.

Estes escalões de intensidade na acção do CO_2 relacionam se com a elevada compres-

(*) Os mármores magnésicos derivados de peridotitos transformam-se frequentemente por termometamorfose, devida a intrusões graníticas posteriores, em «skarns» com diopsido cromífero, uvarovite, tremolite cromífera, etc.

sibilidade da molécula CO_2, cujo volume sofre nas regiões de alta pressão da crosta terrestre uma diminuição tão importante, que se torna possível a sua penetração e difusão através das estruturas cristalinas da cromite. Qualquer diminuição da pressão externa, relacionada com os processos geodinâmicos, provoca o apresamento das moléculas CO_2 na rede molecular da cromite, devido ao respectivo aumento do volume das moléculas CO_2. Porém, como as deslocações da pressão externa durante a metamorfose regional são relativamente vagarosas, as moléculas CO_2 juntam-se, por difusão, nos pontos onde a estrutura da cromite apresenta defeitos ou lacunas, chegando por fim a rebentar o cristal da cromite (fig. 3). Por conseguinte, a velocidade de descompressão determina o tipo do fenómeno de desagregação da cromite. Assim, nos andares geotectónicos elevados, os fenómenos tectónicos de ruptura por distensão que se produzem ocasionalmente no decorrer dos dobramentos, podem causar uma descompressão tão violenta do CO_2, que se dá a dissociação do próprio CO_2, originando a formação de diamantes (serpentinas de Java e de Bornéo). Por outro lado, nas zonas muito profundas da crosta terrestre, onde as modificações das condições de pressão são progressivas e lentas, os cristais de cromite apresentam em geral apenas fenómenos de desagregação mecânica periférica (*).

Assim, quando aparecem nas regiões de grande profundidade (**) texturas que indicam um «rebentamento» violento da cromite, podemos considerá-las como testemunhos seguros da proximidade de intrusões graníticas; — nestes casos, a desagregação da cromite é devida à deslocação repentina dos geoisotermos que provocou a dilatação das moléculas de CO_2 em circulação no interior da cromite (cf. fig. 4-4 d e 5-5 c).

Em resumo, a acção do CO_2 sobre a cromite é puramente mecânica. A extensão dos processos de dissolução, em seguida à desagregação, depende da violência da acção disjuntiva exercida pelo CO_2. De facto, observa-se a formação de auréolas de clorites cromíferas quando as partículas que resultaram do «rebentamento» da cromite passam a ter dimensões submicroscópicas, o que acontece particularmente na proximidade imediata das intrusões graníticas (fig. 5 c).

A instabilidade oscilatória das condições de P-T durante a metamorfose regional conduz a uma desagregação progressiva e cada vez mais pronunciada da cromite. O processo de infiltração, ou difusão, das moléculas comprimidas de CO_2 nas estruturas da cromite, seguido de dilatação e fracturação, repete-se até os fragmentos atingirem dimensões que lhes permitem deslocar-se no meio da «película intergrannlar».

Sob o efeito das pressões orogénicas, produzem-se fenómenos de concentração das partículas coloidais de cromite em suspensão na «película intergranular» de serpentinização. Estes fenómenos apresentam convergências marcadas com os processos magmáticos de diferenciação e concentração por acção da gravidade, com a diferença de se terem realizado a baixas temperaturas num meio aquoso coloidal.

Verificamos que as massas compactas de cromite («cromitites») das regiões de Vinhais e de Morais estão constituídas por partículas de cromite de tamanho consideràvelmente inferior à espessura das películas crisotílicas que envolvem os grãos corroídos de olivina nos peridotitos serpentinizados encaixantes (fig. 6, 6 a).

A formação destas massas compactas de cromite microcristalina resultou de processos que não diferem fundamentalmente do «squeezing out» e do «filter-pressing» dos magmas, de que falou Bowen, e aos quais se referem Osborne ([11]), Newhouse, Balk, e outros.

Fizemos observações idênticas também sobre os óxidos de Fe-Ti, e chegamos à conclusão que as ilmenites com inclusões orientadas de hematite, que foram interpretadas como produtores de «unmixing»

(*) Relacionam-se, com estes factos, os resultados muito variáveis obtidos na trituração de cromites, de proveniências e tipos diferentes, no moinho de bolas.

(**) No sentido da geotectónica.

([11]) F. F. Osborne — Econ. Geol. 1928 — 23.

(Ramdohr), constituem, nalguns casos, agregados que resultaram, da floculação de suspensões coloidais de ilmenite e hematite (Fig. 7 — 7 c).

Torna-se assim evidente a possibilidade de formação de «magmas» serpentínicos por diferenciação metamórfica. As rochas serpentínicas que derivam destes «magmas» já não apresentam mais textura alveolar, mas formam veios ou filões que atravessam as salbandas das peridotites magmáticas.

A natureza coloidal do meio de cuja solidificação resultaram estas «migmatites ultra-básicas» patenteia-se com particular clareza no jazigo de cromite de Morais (Macedo de Cavaleiros), onde se observam agrupamentos de partículas microscópicas de cromite, nìtidamente orientadas de modo idêntico ao das figuras de Widmannstett, sendo os interstícios preenchidos por serpentina (Fig. 6 b). Estas curiosas aglomerações de finas partículas de cromite formam camadas paralelas de $\pm$ 1,0 mm de espessura, com intervalos de poucos milímetros e dispostas perpendicularmente ao rumo da textura fluidal da ganga. O ajuntamento das partículas conduz a formação de massas de cromite compactas. Não pode existir a menor dúvida que estes agregados de cromite resultaram de processos de floculação de coloidos

Perante estes factos, consideramos injustificada em muitos casos, e mesmo talvez duvidosa no conjunto, a interpretação dos jazigos de carácter intrusivo de cromite (Califórnia, Macedónia, Turquia, etc.) e de titanomagnetite e ilmenite (Routivare, St. Urbain, São Paulo, etc.) no sentido de estes serem o resultado de «segregações líquidas intramagmáticas» (Zavaritsky [12], Newhouse [13], Ramdohr [14], etc.) que teriam originado magmas de cromite (*) e de titanomagnetite independentes e de elevada mobilidade. Lembramos que o grupo dos jazigos de «segregação liquo-magmática» foi baseado sobre a actuação de processos hipotéticos, sem o menor fundamento físico-químico definido, e apenas ideados para explicar algumas observações sobre fenómenos parciais.

*

Estes fenómenos de convergência genética na formação dos jazigos metalíferos estendem-se provàvelmente a muitos outros grupos da sistemática actual. Embora bastante vagamente, Schneiderhoehn [10] indica no seu Tratado recentemente publicado, a necessidade de distinguir um grupo de jazigos «pseudo-hidrotermais», originados por processos de mobilização, migração e concentração molecular subsequente em vastas áreas, sem intervenção de soluções derivadas de magmas. Assim, como sustentou recentemente F. Angel [15], os jazigos de siderite e magnesite dos Alpes orientais foram o resultado duma diferenciação metamórfica de rochas sedimentares.

Os sistemas coloidais na metalogenese:

Afinal, a fase evolutiva que atravessam presentemente os nossos conceitos sobre os processos metalogenéticos, constitui de certo modo um regresso sobre a grande controvérsia do meio do século passado entre os defensores da «secreção lateral» e os que sustentavam que os jazigos metalíferos filoneanos são de origem magmática.

Os alicerces da sistemática dos jazigos metalíferos actualmente em vigor, datam da época que marcou o abandono das teorias da «secreção lateral». Não se tinha nessa altura ainda revelado a importância da prospecção mineira regional científica em relação à evolução civilizatória da humanidade, de modo que esta sistemática reflecte em primeiro lugar as necessidades da técnica mineira e as preocupações relacionadas com as tarefas de planeamento industrial e organização financeira individual das empresas mineiras.

---

(12) A. Z. Zavaritsky — Econ. Geol. 1927 — 22 — 678-686.

(13) W. H. Newhouse — Bull Soc. Geol. Am. — 1936 — 47 — 1-52.

(14) P. Ramdohr — Fortschr. der Miner. 1937 — 22 — 105-184.

(*) Expressão frequentemente usada nestes trabalhos.

(15) F. Angel — Fortschr. der Miner. 1939 — 23.

Hoje porém, como argumentamos no início deste artigo, a importância das tarefas de prospecção metódica torna-se cada vez mais importante no quadro da economia mundial dos metais, e perante estas tarefas, a sistemática actual pouco mais constitui do que um elemento auxiliar. Mesmo limitada a este papel de segundo plano, esta sistemática pressupõe por parte do investigador um criticismo aturadamente treinado, pois não há dúvida que ela se encontra ainda em plena evolução. Assim, os critérios físico-químicos de classificação estabelecidos principalmente por Niggli e Lindgren, têm uma aplicação apenas muito restrita quando se trata de sistemas de dispersão coloidal. Os exemplos de transporte de partículas coloidais metálicas através de vastos espaços demonstram que estes processos foram pouco influenciados pelas modificações de temperatura e de pressão. A cassiterite «lignosa», a platina dos filões quartzo-hematíticos de Potgietersrust (Transvaal), Samatra, Canadá, etc., patenteiam claramente que os fenómenos de floculação coloidal são causados por factores geralmente diferentes dos que actuam na formação dos jazigos típicamente hidrotermais (sistemas de dispersão iónica) e que constituem o fundamento teórico da sistemática de Niggli-Lindgren. Lembramos que o papel das soluções coloidais nos processos metalogenéticos foi primorosamente estudado por Boydell ([6]) e que mais recentemente Ahlfeld ([17]) salientou o facto que a importância da química dos coloides nos processos metalogenéticos, e a frequência dos fenómenos relacionados, está ainda longe de ter recebido a devida atenção.

Em todo o caso, os solutos coloidais representam nos processos de metalogenese um meio de transporte de muito maior concentração metálica do que as soluções hidrolíticas. Enquanto SiO_2 pode atingir uma concentração de 13 % como suspensão coloidal na água, a sua solubilidade hidrolítica no mesmo meio é apenas de 0,016 %, — por conseguinte cerca de 10.000 X inferior. No caso de ZnS esta desproporção é ainda mais considerável, sendo a concentração máxima deste sulfureto 10^{17} X superior num meio de natureza coloidal.

Para completar a nossa exposição sobre os fenómenos de migração de partículas coloidais de cromite durante a metamorfose regional dos peridotitos, comunicaremos algumas observações que fizemos sobre uma *lidite quartzo-cromítica* encontrada nas imediações de Bragança.

Da lidite quartzo-cromítica em questão, que se apresenta uniformemente negra, muito rija e compacta, resulta, por oxidação supergénica das partículas de pirite nela contidas, um produto silicioso acastanhado idêntico à *«birbirite»* platinífera (*) da Abissínia, descrita por L. Duparc e interpretada como sendo um produto de alteração supergénica dos dunitos sob condições muito particulares que originaram um aumento do teor de sílica de 36 para 80 até 90 % SiO_2 em média. Seria por conseguinte justificado substituir por *«fervencite»* (**) a designação de «birbirite», que se refere apenas ao produto não-alterado.

Ao exame microscópico constata-se que a «fervencite» é constituída por uma mescla de aglomerados criptocristalinos de partículas minerais opacas por um lado, e de quartzo hipídiomórfico de granulação variável — indo desde o microcristalino até o criptocristalino — por outro lado (Fig. 8). A mescla apresenta uma textura predominantemente fluidal, passando por zonas mais confusas com aspecto turbilhonário, onde a dispersão das partículas opacas confere à mescla um aspecto «nebulítico».

O *quartzo* não mostra quaisquer efeitos de acção dinâmica. Nas regiões onde as partículas opacas formam «nebulosas» de alta dispersão, verifica-se que os grãos de quartzo estão profusamente salpicados por finíssimas inclusões de matérias opacas. Podemos — com toda a segurança — concluir que a textura fluidal da ferven-

([16]) H. C. Boydell — Trans. Inst. Min. Met. — 1925 — 34 — 145-337.

([17]) F. Ahlfeld e J. Muñoz Reyes — Bodenschätze Boliviens — 1939 — 199 pp.

(*) O teor de platina das «birbirites» da Abissínia atinge ocasionalmente 79 % Pt.

(**) Segundo o rio Fervença, em cujas margens colhemos as amostras desta lidite cromítica.

Fig. 1: Anfibólito Luz pol. X 30
Cabeço das Beatas, Bragança

Anfibólito derivado dum gabro diabásico (correlação geotectónica!)
por simples recristalização (metamorfose regional)

I. **Metamorfose regional:** *«Metasome I» — facies horneblendo — epidoto — albitica*

Horneblenda I, *verde escuro —> extinção (010): ~ 18° — textura metablástica, panidiomórfia parcialmente obliterada pelo «metasome II» — grãos isodimensionais de tamanho médio.*

Epídoto, *XX agrupados nos intersticios da horneblenda: substituição in-situ dos plagioclases do gabro preexistente — (o «palasome») — ;*
XX pequenos, oclusos na horneblenda.

Albite, *forma numerosas pequenas inclusões idiomórficas na horneblenda.*

Magnetite,

II. **Metamorfose regional:** *«Metasome II» — facies horneblendo — zoisito — quartzosa*

Horneblenda II, *substitue parcialmente (: processo de breve duracão?) a horneblenda I, em periferia e segundo os planos de cliv. (110); — a horneblenda II é de cor verde bastante claro levemente azulado (+ Al, + Na?) — e de granulação extremamente fina.*

Zoisito, *XX isolados, bem desenvolvidos — sempre no meio dos agregados de horneblenda II e nunca como inclusão na horneblenda I — contém vestígios do epidoto que substituiu.*

Quartzo, *alotriomorfo, em pequena quantidade.*

Hematite, *«martitização» quase completa da magnetite do «Metasome I».*

Plagioclase, *forma auréolas de substituição em volta da albite, tornando-se a horneblenda circundante mais clara e fissurada (? reacção no estado sólido entre albite e horneblenda intercambio Ca ⇄ Na por difusão?)*

III. **Metamorfose regional:** *«Metasome III» — supergénico? — facies clorito — quartzo — calcitica.*

Fig. 1-A: Anfibólito Luz pol. X 110
Cabeço das Beatas, Bragança

Pormenor da fig. 1 — Nota-se um desenvolvimento mais marcado do «Metasome II» nas arestas da horneblenda I, cujos XX revestem uma configuração ovoida.

Fig. 2: Dialagite Luz pol. X 45
Cabeço das Beatas, Bragança

O «Palasome» *(à direita): facies piroxenitica*

Dialago de cor verde muito escuro (macrocristais ovoides até 8,0 cm ||(010)) — forte dispersão da extinção — pleocr. fraco.

O «Metasome I» *(no centro): facies horneblendo — epidoto — albitica*

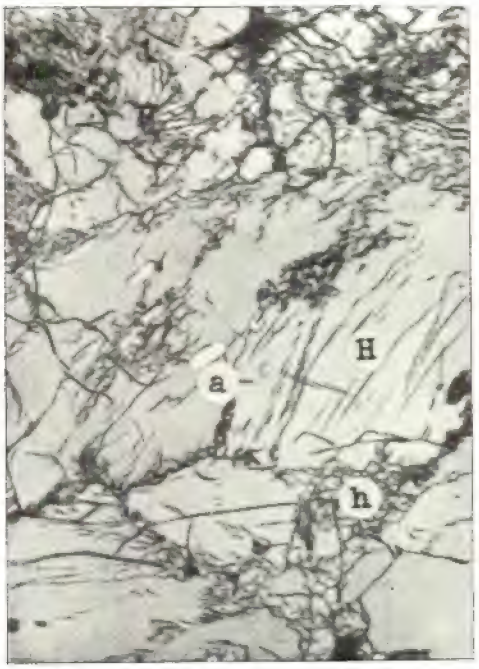
Ocupa o espaço intersticial e preenche as fracturas dos macrocristais ovoides de dialago.
Horneblenda com inclusões de epidoto e de albite; textura metablástica de grão médio.

O «Metasome II» *(à esquerda): facies horneblendo — zoisito — quartzosa*
Agregado metablástico de granulação fina, identico ao «Metasome II» da fig. 1.

Fig. 2-A: Dialagite Luz pol. X 180
Cabeço das Beatas, Bragança

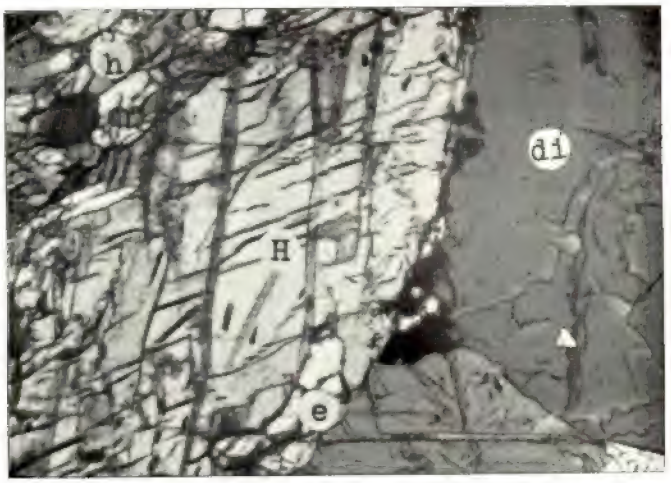
Pormenor da fig. 2 — Mostrando o «Metasome II» no espaço intersticial do agregado de horneblenda do «Metasome I»

Obs. *a configuração da superfície de separação entre os agregados das duas facies, que claramente nos indica que não se trata de «orlas cataclásticas».*



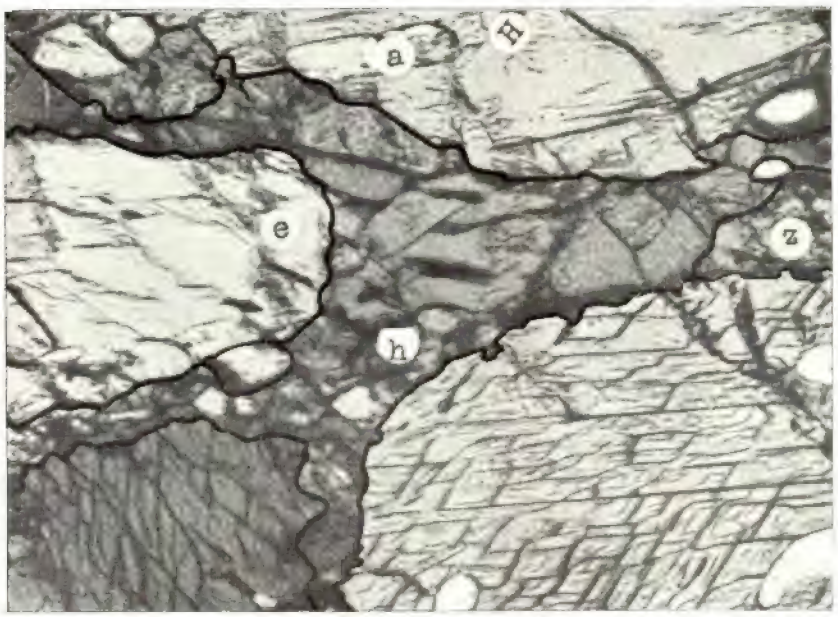
1

1 a

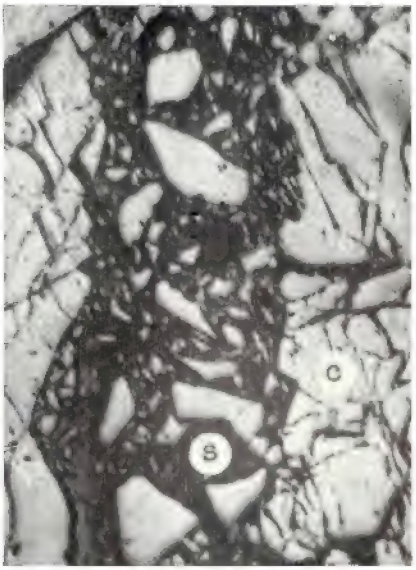


2

H = horneblenda I
h = horneblenda II
e = epidoto
z = zoisito
a = albite
di = dialage



2 a



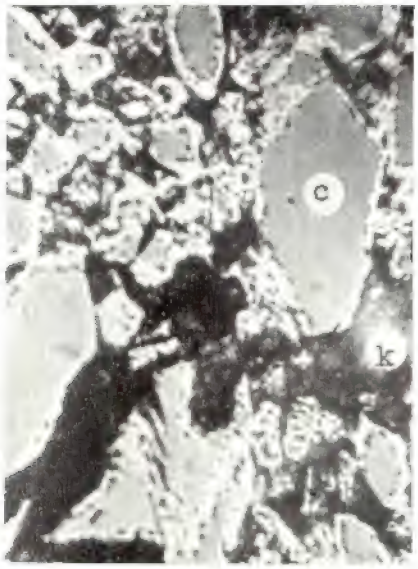
3 a

c = cromite

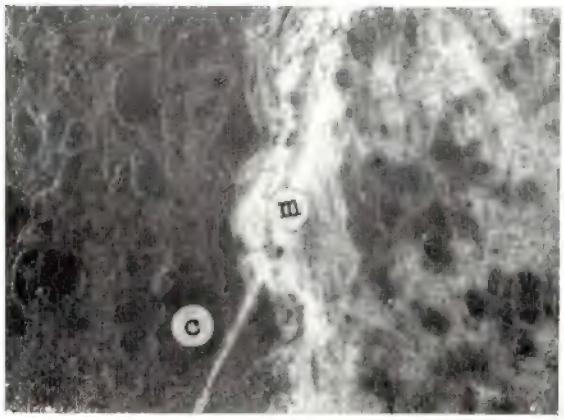
s = serpentina

k = kaemmererite

3 b



c = cromite

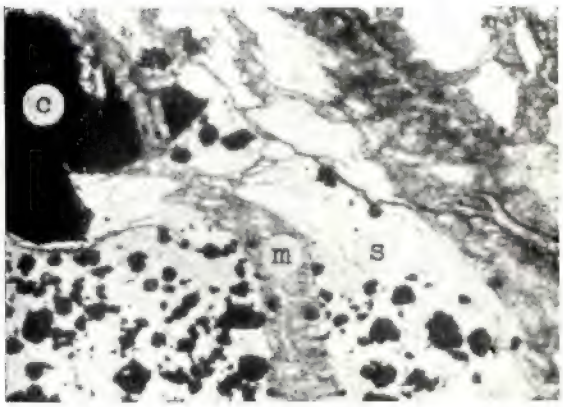


m = magnesite

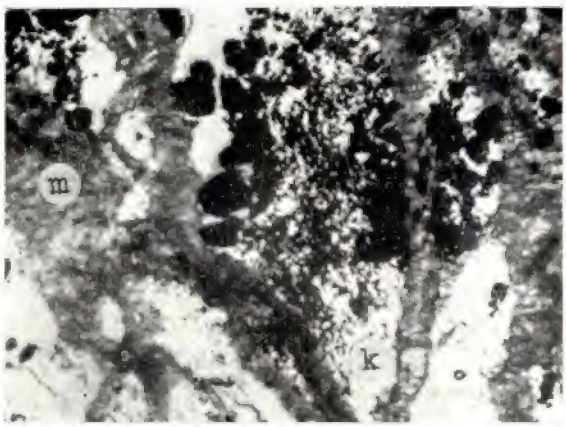
s = serpentina

k = kaemmererite

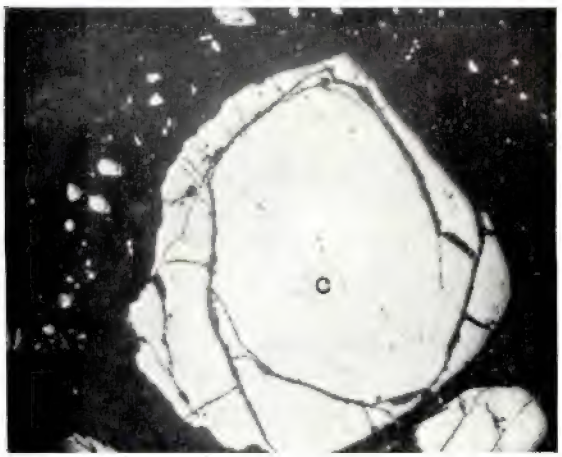
4



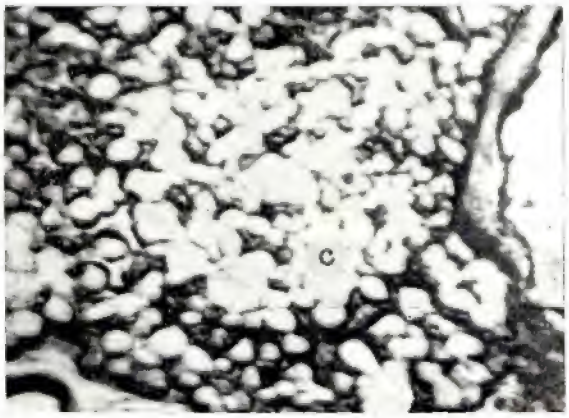
4 a



4 c



4 b



4 d

Samil, Bragança — **Fig. 3-A: Cromite** — Luz refl. X 30

Fissura penetrada por serpentina, e desagregação simultânea da cromite em fragmentos poligonais irregulares e heterodimensionais (cromite de formação intramagmática — Cf. fig. 4-A e 4-B)

Não houve deslocação segundo a fissura inicial; — foram apenas deslocados os fragmentos no interior da veia serpentínica. — Não se trata, por conseguinte, de fragmentação cataclástica, mas de desagregação devida a acção das soluções de serpentinização (CO_2!).

Fig. 3-B: Cromite — Luz refl. X 110

Cabeço das Beatas, Bragança — Imersão óleo

Desagregação da cromite, com início de dissolução: precipitação de silicatos de Cr (kaemmererite) e floculação de pequeníssimos esférulos de hematite na superfície dos fragmentos de cromite. (metasomatose granítica ± telemagmática)

Cabeço das Beatas, Bragança — **Fig. 4: Cromite** — X 4

«Frente» de carbonatização numa cromitite prèviamente compacta. Telemetasomatose granítica

À esquerda: *Desagregação da cromitite com formação de fragmentos ± grosseiros no início do processo, que se tornam cada vez mais finos, até sofrer dissolução completa (ou evacuação pela acção mecânica da circulação da solução carbonática), ficando em volta dos núcleos ± incolumnes de cromitite um estreito espaço preenchido por silicatos de Cr, e livre de vestígios de cromite.*

À direita: *(Atrás da «frente» de carbonatização): textura imbricada formada por lenticulas de cromite e e micas cromíferas, rodeadas por filetes de magnesite e calcedonia. A maior parte da cromite finamente fragmentada foi arrastada e evacuada pelas soluções de carbonatização, ou dissolvida (formação de aniões complexos de Cr, que entraram na composição das micas cromíferas).*

Fig. 4-A: Cromite — Luz pol. X 30

Pormenor da fig. 4 — Simples disjunção do agregado microcristalino de cromitite, com início de desagregação (cf. Fig. 4-B) dos cristais de cromite.

Em volta dos fragmentos da cromitite, que mostram contornos ± idiomórficos, formou-se principalmente serpentina (crisótilo), que ostenta uma textura nitidamente fluidal. As veias de magnesite + hidromagnesite são de formação um tanto posterior; — nota-se a ausência de quaisquer fenómenos de desagregação no contacto das veias de magnesite com a cromite. Por conseguinte, houve ainda circulação das soluções carbonáticas hidrotermais sob condições de pressão e de temperatura qua já não permitiam ao CO_2 provocar a desagregação da cromite. Ínfimos fragmentos de cromite, oclusos nas veias de magnesite, mostram que houve transporte puramente mecânico da cromite durante esta fase tardiva da circulação das soluções carbonáticas.

Fig. 4-B: Cromite — Luz refl. X 200 — Imersão óleo

Pormenor da fig. 4-A — Observado numa secção polida e mostrando o início da desagregação dum cristal idiomórfico de cromite, em seguida à disjunção do agregado cromítico. As fissuras interiores de tensão, que limitam uma porção ± elipsoidal da cromite deixada incólume, indicam aproximadamente a distância percorrida pela difusão do CO_2 altamente comprimido através da estrutura da cromite.

Fig. 4-C: Cromite — Luz pol. X 30

Pormenor da fig. 4 — Fase de desagregação bastante adeantada dos cristais de cromite; dissolução parcial da cromite, com formação sucessiva de fuquesite, kaemmererite, kotschubeyite e cloritóide cromífero (aumento progressivo de Cr e diminuição simultânea de SiO_2 na sequência de formação de micas cromíferas).

Fig. 4-D: Cromite — Luz refl. X 600 — Imersão óleo

Pormenor da fig. 4-C — Observado numa secção polida. Partículas esféricas de cromite em suspensão no meio que provocou a desagregação da cromite. De ambos os lados da figura observam-se «canais» de circulação das soluções, que indicam que houve transporte das esférulas de cromite.

Fig. 5: **Cromite** X 4

Cabeço das Beatas, Bragança

Desagregação da cromitite por acção breve e violenta, de natureza pneumatolítica, de soluções provenientes dum magma granítico.

Os fragmentos grosseiros da cromitite foram apenas atingidos em superfície (= breve duração do processo), porém com tal violência, que resultou principalmente dissolução, ou desagregação molecular da cromite.

Fig. 5-A: **Cromite** Luz pol. X 45

Cabeço das Beatas, Bragança

Pormenor da fig. 5 — Agregado de diasporite ($Al_2O_3.H_2O$), de textura marcadamente fluidal, com fragmentos grossos de cromite, arrastados pelas soluções e envolvidos por uma fina camada de micas cromíferas (dissolução, ou desagregação molecular superficial). Observam-se entre os fragmentos grossos de cromitite, finas camadas de partículas de tamanho coloidal de cromite, que patenteiam a deslocação ± giratória dos fragmentos grossos de cromitite deslocados pelo afluxo das soluções metasomáticas.

Brucite — $Mg\ (OH)_2$ — e hidrargilite (= gibbsite) — $Al_2O_3.\ 3\ H_2O$ — acompanham a diasporite e micas cromíferas.

Fig. 5-B: **Cromite** Luz refl. X 600

Imersão óleo

Cabeço das Beatas, Bragança

Pormenor da fig. 5 — Observado em luz reflectida. — Fragmentação intensa dum cristal de cromite pelas soluções pneumatolíticas de metasomatose granítica (dessilicificação!)

Fig. 5-C: **Cromite** Luz refl. X 850

Imersão óleo

Cabeço das Beatas, Bragançs

Pormenor da fig. 5-A — Desagregação de pequeníssimos fragmentos de cromite, originando partículas de tamanho coloidal, e dissolução destas últimas com floculação simultânea de $Fe\ (OH)_3$ em pequenas esférulas, que — em parte — ocluem ainda vestígios de cromite.

(A parte preponderante de $Fe\ (OH)_3$ entre — como anião complexo — no cloritóido (= otrelite) que aparece junto às micas cromíferas).

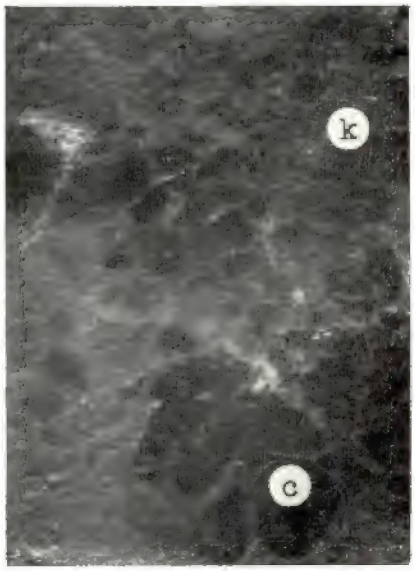
Fig. 6: **Cromite** Luz refl. X 500

Imersão óleo

Mina Abessêdo, Vinhais

Agregado de cromite microcristalina e de serpentina (crisótilo) formado por «filter-pressing» das soluções de serpentinização regional durante processos orogénicos (não houve cataclase notável depois da formação deste agregado!)

Cf. pormenor desta figura na estampa seguinte (6 a)

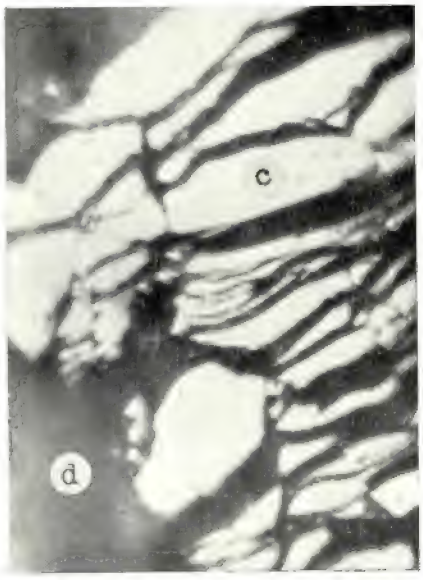


c = cromite

d = diasporite

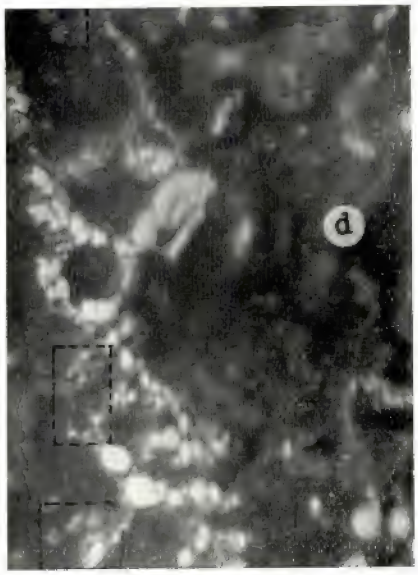
5

5 a



5 b

ko = kotschubeyite
k = kaemmererite

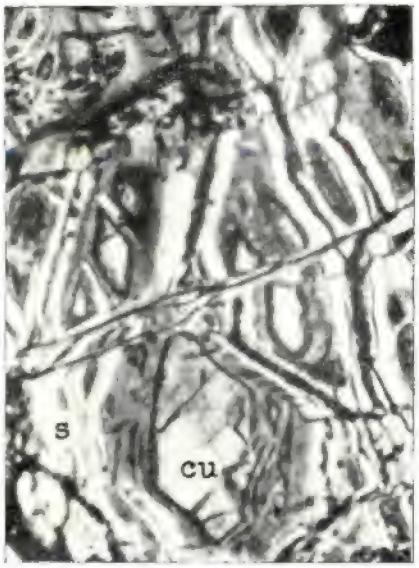


5 c

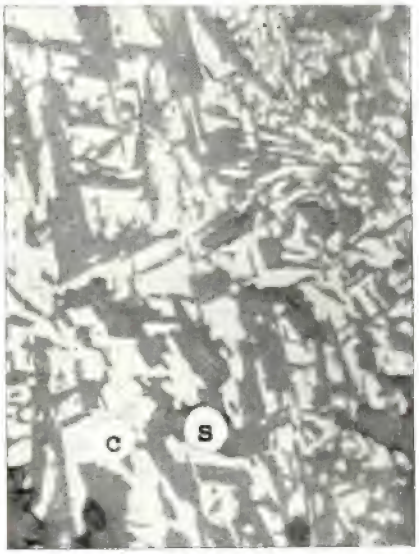
6

6 a

7

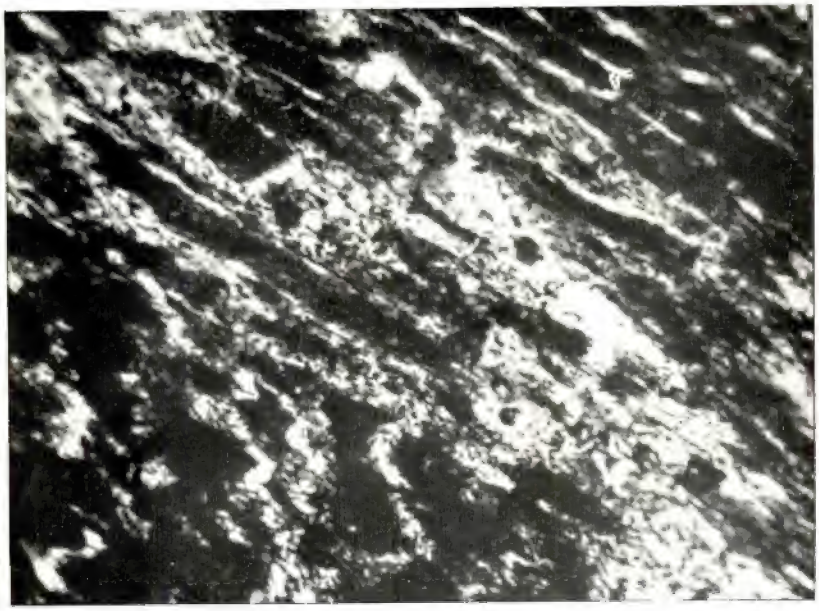


6 b



7 a

7 b



8

c = cromite
i = ilmenite
+ hematite
s = serpentina
cu = cummingtonite

Fig. 6-A: **Cromite** Luz refl. X 500
Imersão óleo
Mina Abessêdo, Vinhais

Pormenor da fig. 6 — Textura do agregado microcristalino, mostrando o desenvolvimento ± panidiomórfico dos microcristais de cromite. Obs. que esta cromite de baixa temperatura de formação *não apresenta cristalização octaédrica*

A textura panidiomórfica do agregado indica que o crescimento dos cristais estava concluído na altura quando se deu o processo de concentração por «filter-pressing».

Fig. 6-B: **Cromite** Luz refl. X 110
Imersão óleo
Morais, Macedo de Cavaleiros

Cromite-serpentina — Textura gráfica reproduzindo a simetria cúbica da cromite. Parte central de camadas delgadas (0,5 até 2,0 mm de espessura) de floculação, dispostas perpendicularmente à textura fluidal da rocha serpentínica.
(As superfícies destas finas camadas disciformes, de floculação apresentam textura mirmequítica de extrema finura e dispersão)

Fig. 7: **Xisto cummingtonítico serpentinizado** Luz pol. X 45
Cabeço das Beatas, Bragança

Xisto cummingtonítico (tremolite magnésica, > extinção. 21°) derivado dum gabro diabásico por metasomatose magnésica no contacto com um magma peridotítico. («facies anfibólica», equivalente às bronzitites e enstatites). Serpentinização por metamorfose regional. Óxidos Fe-Ti no meio das veias de serpentina (crisótilo).

Fig. 7-A: **Ilmenite** Luz refl. X 110
Imersão óleo

Xisto tremolítico — a ilmenite envolve os cristais idiomórficos de tremolite, substituindo ± inteiramente a serpentina da figura precedente

A ilmenite forma cristais hipidiomórficos bastante largos, sendo apenas homogénea e com as propriedades óticas normais na sua superfície. — No interior, os cristais de ilmenite mostram numerosas inclusões lenticulares duma mescla gráfica de hematite-rutilo, aureoladas por uma zona delgada de transição para ilmenite homogénea constituída por maghemite (Fe_2O_3 cúbico e magnético).

Fig. 7-b: **Ilmenite** Luz refl. X 110
Imersão óleo

Zona de pre-concentração da ilmenite nos espaços intersticiais do xisto tremolítico, em volta dos agregados massiços de ilmenite do tipo representado na figura precedente

Obs. a disposição fluidal dos «farapos» e das finíssimas partículas de ilmenite; — concentração da ilmenite por processo de «filter-pressing» nos canais de circulação do meio de serpentinização.

Fig 8: **Fervencite** Luz nat. X 30
Bragança

Agregado de *quartzo* micro — até criptocristalino formando uma mescla de textura fluidal com partículas de *cromite* (e *sulfuretos*) de tamanho *coloidal*

A textura fluidal é relacionada com o processo de floculação — não houve qualquer deformação mecânica da rocha, mas apenas circulação de soluções hidrotermais através do hidrogel cromítico, logo a seguir o processo de floculação.

cite é singenética, e testemunha dum processo de mistura entre duas fases de natureza e mobilidade diferentes.

Alguns filetes muito delgados, de cor esbranquiçada, atravessam a «fervencite»; — são constituídos por quartzo de grão um pouco maior, com raras inclusões de moscovite, zircão e silimanite (?), por pequenos grãos de ortose orlados por albite, e por raros cristais idiomórficos de pirite.

As observações em luz refl. são extremamente dificultadas pelo tamanho criptocristalino das partículas opacas. Contudo, constatamos que enquanto a cromite forma aglomerados de aspecto dendrítico, a pirite — que aparece principalmente nas zonas de carácter mais disperso — forma finos envólucros em volta de esférulos de quartzo. As zonas de cromite e de pirite são nìtidamente separadas. Observamos ainda alguma niquelite em grãos de tamanho um pouco superior às partículas de cromite.

Como já referimos atrás, observam-se na «fervencite» texturas que indicam uma diluição progressiva dum hidrosol cromítico. Um crescimento marcado dos grãos de quartzo acompanha este fenómeno de diluição, e houve simultâneamente precipitação de sulfuretos. O meio diluente que se misturou com o hidrosol cromífero, foi seguramente a origem da baixa repentina de «solubilidade coloidal» do soluto carregado de $Fe(OH)_3$, $Cr(OH)_3$, Pt (?), do que resultou a formação das faixas nìtidamente diferenciadas de floculação no hidrogel cromítico. A disposição ziguezagueante das partículas e faixas de cromite, não nos parece ter sido ùnicamente originada pela acção mecânica do afluxo do meio diluente. Lembra-nos as trajectórias percorridas pelas partículas coloidais sob o efeito da «agitação browniana». Relacionamos com este fenómeno a nítida separação entre as faixas coloidais de óxidos e de sulfuretos, provàvelmente devida a correntes de natureza cataforítica que se estabeleceram no hidrosol pouco antes da floculação.

A formação da «fervencite» apresenta-se-nos como o resultado da mistura de solutos coloidais originados pelos processos de desagregação intergranular da metamorfose regional, com soluções hidrotermais directamente derivadas dum magma granítico. A precipitação dos sulfuretos em volta das faixas de floculação das partículas de cromite, indica que a diminuição da concentração do H_2S nas soluções hidrotermais, em relação com a formação da pirite, teve talvez uma influência importante sobre o meio coloidal, pois é conhecido que o H_2S exerce uma forte acção peptizante sobre os coloides. Analisando a origem do fenómeno de floculação, não se deve também menosprezar o facto dos germens de cristalização dos sulfuretos terem uma carga negativa, enquanto $Fe(OH)_3$ e $Cr(OH)_3$ possuem uma carga positiva.

A determinação dos factores decisivos na floculação dum soluto coloidal pode facilitar consideràvelmente as pesquisas mineiras, permitindo localizar as áreas onde estes factores se manifestaram. Consideramos como muito provável que se venha a verificar no futuro a particular frequência do tipo de *processos de mistura entre solutos coloidais de origem metamórfica e soluções hidrotermais magmatogénias* que acabamos de tratar. Tais processos constituem de certo modo um fenómeno de convergência e interferência entre a «secreção lateral» e a diferenciação magmática.

*

Como conclusão destas diversas considerações, sublinharemos que as tarefas de prospecção regional exigem que nós abordemos os problemas da metalogenese sobre uma base muito mais larga que a sistemática académica actual. Devemos considerar estes problemas no quadro dos grandes circuitos da migração geoquímica dos metais na crosta terrestre e procurar correlacioná-los no tempo e no espaço com os ciclos e as zonas de diastrofismo que marcaram a evolução geológica da região considerada. Uma sistemática neste sentido não existe ainda — a sua elaboração constitui a principal tarefa da geologia no futuro.

(Continua)

INSTITUTO PARA A ALTA CULTURA
CENTRO DE ESTUDOS DE ENGENHARIA CIVIL
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO · LISBOA
PUBLICAÇÃO N.º 6

A FÍSICA E A ENGENHARIA CIVIL[1]

PELO ENG.º MANUEL ROCHA
Bolseiro do I. A. C.

C. D. 53:624

1. Foi o desenvolvimento da Física nos séculos XVII, XVIII e XIX que criou condições para o aparecimento, neste último século, da Engenharia, cuja característica essencial, em face das antigas técnicas, é o uso que ela faz de leis naturais quantitativas.

As antigas técnicas baseavam-se na intuição e no empirismo, sendo, contudo, ainda hoje fundamental o papel que estes elementos desempenham na Engenharia, sobretudo nos ramos, como o da Engenharia Civil, derivados directamente daquelas técnicas.

Nota-se, todavia, um recuo constante no recurso à intuição e ao empirismo à medida que vai progredindo o conhecimento das leis naturais. Há já hoje muitos problemas de Engenharia relativamente aos quais o determinismo das leis naturais à disposição do engenheiro é, felizmente, tão apertado que nenhuma margem lhe deixa para a iniciativa pessoal. E digo felizmente porque, além de não ser de temer o marasmo que resultaria do esgotamento dos problemas a resolver, o facto duma solução ser imposta por leis tem a grande vantagem de simplificar a actuação do engenheiro e, o que é ainda mais importante, simultâneamente permitir a máxima economia dentro da segurança desejada.

A Engenharia Civil só se constituiu quando a Física lhe forneceu a Mecânica dos Meios Contínuos.

Deve frisar-se, contudo, que a Engenharia não recebe do físico, por via de regra, as leis elaboradas de modo a poder aplicá-las directamente à resolução dos seus problemas. É necessária uma série de desenvolvimentos exigidos pela necessidade da sua extensão, mais ou menos legítima, a casos particulares que, não interessando ao físico, sejam importantes nas aplicações. A Engenharia tem, digamos, que vencer bolsas de resistência deixadas pela frente de avanço do conhecimento das leis naturais. Assim se constituem as ciências técnicas ou aplicadas como a Resistência dos Materiais, a Hidráulica Geral, a Aerodinâmica Aplicada, a Termodinâmica Aplicada e a Electrotecnia Teórica, que são a pormenorização de ramos da Física que interessam especialmente à Engenharia.

2. A importância da Física para o Engenheiro não reside só no facto de ela lhe fornecer meios, as leis, para o conhecimento dos fenómenos, mas também na *formação* intelectual que o seu estudo confere. Efectivamente, é a Física que aponta ao engenheiro a atitude mental a tomar perante um novo pro-

---

[1] Transcrição dum artigo publicado, sob o mesmo título, no n.º 1, vol. I, da *Gazeta de Física*.
Agradeço aos eng.os Pedro Nunes e Vasco Cambournac a cuidada revisão das provas deste artigo.

blema, o que é extremamente importante, pois os problemas técnicos têm sempre facetas novas.

Para o ensino da Física poder atingir esta finalidade, deverá ele ser conduzido por via experimental, indutiva, e não por via axiomática. Esta segunda via dá mesmo uma formação contrária à que deve possuir o engenheiro, pois este deve estar sempre atento aos resultados das experiências e à sua interpretação. O ensino experimental da Física, como em geral o das ciências, é indispensável no nosso País onde se nota uma confiança desmedida no raciocínio: experimenta-se pouco e discorre-se demais, o que tem conduzido a um estreito cientismo livresco.

Note-se que o contacto permanente do Engenheiro com problemas humanos exige que ele possua além da formação científica, para a qual a Física lhe dá a contribuição mais importante, uma sólida formação humanístico-social. A importância da formação científica e humanístico-social no ensino superior da Engenharia está bem patente nas sugestões que recentemente o «Committee on Engineering Education» da «American Society of Civil Engineers» fez a 114 escolas americanas de Engenharia Civil. Aconselha esse «Committee» que sejam dedicados ao ensino das ciências (puras e aplicadas) e às disciplinas de humanidades e assuntos sociais, respectivamente 35 % e 20 % da duração total do curso, sobejando, portanto, para o ensino das disciplinas da especialidade sòmente 45 % daquela duração.

3. A actividade do engenheiro civil consiste em dar aos materiais de construção à sua disposição formas e dimensões tais que lhe permitam alcançar, com segurança, economia e beleza, o fim em vista: transpor um vale (ponte), reter as águas dum rio (barragem), etc.

Na escolha das formas a adoptar o engenheiro civil baseia-se essencialmente em construções análogas já existentes e, além disso, na sua intuição ou sentido mecânico. É nesta escolha que o engenheiro introduz na obra o seu poder criador.

Escolhida a forma, entre as muitas que em geral são possíveis, levanta-se o problema de prever se a construção se encontrará em boas condições de segurança, isto é, se não se dará a rotura quando a construção for submetida às forças que sobre ela actuarão, como o peso próprio, as devidas à acção do vento e de tremores de terra, as sobrecargas, etc.

Gravura, representando uma viga encastrada num extremo e submetida no outro a uma carga (peso), extraída da obra de Galileu *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche* (Leiden, 1638), onde foram apresentados os primeiros resultados com interesse para a estruturação da Mecânica dos Sólidos Deformáveis

Aqui o engenheiro tem de recorrer à Física: à Mecânica dos Sólidos Deformáveis.

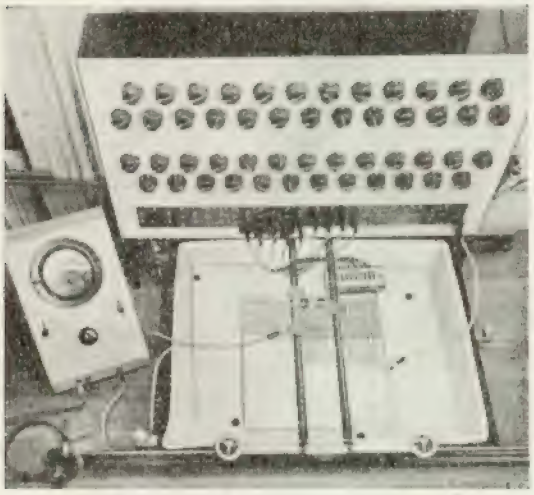
Desta constituiu a Física, em primeiro lugar, a Teoria da Elasticidade, depois dum labor de dois séculos iniciado por Galileu em 1638 e rematado, pode bem afirmar-se, pelo estabelecimento das equações gerais, em 1821, por Navier.

A Teoria da Elasticidade baseia-se na noção de tensão e na lei de Hooke [1], que melhor

[1] Hooke estabeleceu a sua famosa lei em 1660 e publicou-a em 1676 sob a forma dum anagrama, «ceiiinossttuu», do qual só em 1678 deu a solução: «ut tensio sic vis». Para fazer uma ideia do passo extraordinário dado por Hooke, bastará reparar numa comunicação, citada na página 4 da *History of the Theory of Elasticity* de Todhunter e Pearson, apresentada em 1674 à Royal Society por Sir William Petty. Nesta comunicação, que mostra a orientação de alguns físicos (?) da época, o autor explica a elasticidade dos sólidos por intermédio dum sistema complicado de átomos aos quais atribui «propriedades sexuais» baseando-se para isso numa passagem da bíblia que diz «macho e fêmea os criou», a qual o autor afirma que deve aplicar-se às «partes últimas» da natureza e «portanto» aos homens e aos átomos.

seria designar por hipótese, pois, para a maior parte das substâncias, as deformações não são proporcionais às tensões.

Aquela noção de tensão é fundamental para o engenheiro civil. De facto, para averiguar se uma construção se encontra em boas condições de segurança, ele precisa de conhecer, em todos os pontos da construção, o estado de tensão, do qual se pode avaliar, pelo menos numa primeira aproximação, o perigo de rotura.



Montagem para a integração experimental da equação de Laplace a duas variáveis

Na tina coloca-se uma placa, por exemplo de ebonite, na qual se fez uma abertura reproduzindo o domínio de integração, e enche-se a abertura com um líquido condutor. No contorno desta abertura estabelecem-se potenciais proporcionais aos valores que toma a função a integrar na fronteira do domínio de integração. Os potenciais do líquido no interior da abertura são proporcionais aos valores da função

4. A Teoria da Elasticidade mostra que o estado de tensão num ponto é definido por um tensor simétrico de segunda ordem, e fornece para a sua determinação um sistema de nove equações às derivadas parciais de segunda ordem. É na integração deste sistema que se encontra uma dificuldade, podemos dizer, intransponível. De facto, são raros os casos em que o sistema se pode integrar e, mesmo assim, por vezes, com desenvolvimentos analíticos muitíssimo longos, o que desvaloriza a solução. Com efeito, na Engenharia, só podem interessar métodos de cálculo que exijam um trabalho cujo valor não exceda uma reduzida fracção do custo da construção.

Em virtude daquela dificuldade houve necessidade de criar um novo ramo da Mecânica dos Sólidos Deformáveis, a Resistência dos Materiais, que melhor seria designar-se Resistência das Construções. É à Física que se deve o estabelecimento das suas leis fundamentais cujas consequências têm sido largamente exploradas, desde há um século, pelos engenheiros.

Essas leis são: a lei de Hooke, a lei de Navier-Bernoulli, que afirma manterem-se planas as secções transversais duma peça prismática quando submetida à flexão, e a lei da distribuição linear das tensões tangenciais desenvolvidas na secção transversal dum cilindro submetido a uma torsão. Para o engenheiro civil as mais importantes são as duas primeiras, tendo sido o estabelecimento da segunda que escorvou o enorme desenvolvimento tomado pela Resistência dos Materiais.

Os problemas de Resistência dos Materiais que aparecem na Engenharia Civil são geralmente estáticos. Contudo também surgem problemas dinâmicos, sobretudo relativos à vibração de meios contínuos.

Assim, há necessidade de conhecer as tensões desenvolvidas numa ponte que vibra ao ser transposta por um comboio, as desenvolvidas num edifício submetido à acção dum sismo, etc.

Os problemas dinâmicos só podem por ora, em geral, ser tratados com métodos pouco aproximados, apesar do grande desenvolvimento que a teoria das vibrações tem tido nos últimos anos em virtude das necessidades da construção de máquinas.

5. A Física presta ainda um auxílio precioso para vencer a dificuldade, que apontámos, de integração de certas equações diferenciais da Teoria da Elasticidade. De facto, recorrendo a outros fenómenos físicos, que são regidos pelas mesmas equações diferenciais, consegue-se a integração experimental por analogia. Assim, a integração experimental da equação de Laplace, que interessa não só à Teoria da Elasticidade mas também a outros domínios, é sempre possível por intermédio da determinação dos potenciais dum campo eléctrico, criado por condutores com formas e potenciais escolhidos de harmonia com as condições aos limites da equação de Laplace a integrar.

Também é possível determinar as tensões desenvolvidas numa estrutura constituída por elementos rectilíneos, como a estrutura dum edifício, a partir da medição de certas grandezas dum circuito eléctrico convenientemente escolhido, o que é consequência de os comportamentos da estrutura e do circuito serem regidos por certas condições de mínimo formalmente idênticas.

Dum modo geral, é possível resolver qualquer sistema de equações lineares a partir dum circuito eléctrico. Esta possibilidade foi recentemente aproveitada para a construção de máquinas eléctricas destinadas à resolução de sistemas de equações lineares, máquinas que terão certamente larga aplicação na Engenharia Civil, onde aparecem com frequência sistemas com tão grande número de equações que são inabordáveis pelos métodos analíticos conhecidos.

6. A Resistência dos Materiais, por ser constituída por um conjunto de teorias particulares, só aplicáveis a sólidos com determinadas formas, é muitas vezes impotente para fornecer os valores das tensões e deslocamentos com a aproximação necessária.

Esta deficiência, apesar dos progressos da Resistência dos Materiais, tem-se vindo acentuando com o progresso da técnica, e a consequente crescente preocupação de economia de materiais, que acarreta a necessidade de conhecer as tensões desenvolvidas nas construções com aproximação cada vez maior.

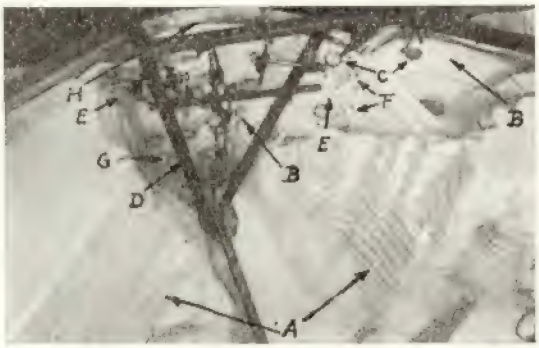
Esta situação está obrigando, com crescente frequência, ao recurso a métodos experimentais para a determinação de tensões, quer sobre modelos das construções quer sobre as próprias construções.

É ainda à Física — à semelhança mecânica — que o engenheiro recorre para a fixação das dimensões a dar aos modelos (que por vezes não são geomètricamente semelhantes às construções reais), para a escolha dos materiais desses modelos (que devem possuir propriedades relacionadas com as dos materiais das construções) e para o transporte, para as construções, das tensões e deslocamentos observados sobre os modelos quando lhes aplicamos forças satisfazendo a condições fornecidas ainda pela semelhança mecânica.

A determinação experimental das tensões, por meio de aparelhos designados extensómetros, faz-se a partir da medição das deformações, isto é, das variações das distâncias entre pontos vizinhos, provocadas pela aplicação das forças ou por outras causas.

Como as deformações a medir são muito pequenas, frequentemente da ordem de grandeza do micron, essa determinação experimental apresenta sérias dificuldades. Até há alguns anos eram quase exclusivamente usados extensómetros constituídos por sistemas mecânicos que ampliam a deformação, mas, sobretudo nas duas últimas décadas, tem-se recorrido a extensómetros baseados na medição da variação, provocada pela deformação, de diversas grandezas físicas como, frequência própria de oscilação duma corda vibrante, capacidade dum condensador, self duma bobine, resistência dum circuito eléctrico e permeabilidade magnética. Com o quartzo piezo-eléctrico consegue-se a medição directa de tensões exercidas na superfície dum sólido.

Com alguns extensómetros consegue-se mesmo fazer a determinação das tensões no interior das construções ou dos modelos, o que tem interesse nos casos de grandes espes-



Modelo da barragem de St.ª Luzia. Construído no Centro de Estudos de Engenharia Civil (I. A. C.), para a determinação de tensões e deslocamentos provocados pela pressão hidrostática e por variações de temperatura

A — modelo do terreno
B — modelo da barragem
C — deflectómetros para medição dos deslocamentos
D — estrutura de suporte dos deflectómetros
E — cordas vibrantes
F — extensómetros mecânicos
G - pares termo-eléctricos
H — parte superior do espaço, a montante do modelo, onde sobe o mercúrio que exerce a pressão hidrostática

suras, como sucede nas barragens, que já chegaram aos 200 m.

Para a determinação das tensões desenvolvidas na superfície dum sólido têm-se conseguido, recentemente, bons resultados pela aplicação dum método baseado na observação das linhas de fractura que aparecem, em virtude da aplicação das forças, numa camada frágil de pequena espessura com a qual se recobre a superfície do sólido ([1]).

Nos modelos e, sobretudo, nas construções interessa muitas vezes conhecer as tensões provocadas pelas variações de temperatura. Estas tensões sobrepõem-se às devidas às forças aplicadas e frequentemente excedem-nas. Para separar as contribuições das forças e das variações de temperatura para as tensões observadas, torna-se indispensável, posto que muitas vezes não seja suficiente, conhecer a distribuição de temperaturas. Para isso, a Física pôs à disposição do engenheiro civil os termómetros de resistência eléctrica e os pares termo-eléctricos que se aplicam na superfície ou no interior das construções e modelos.

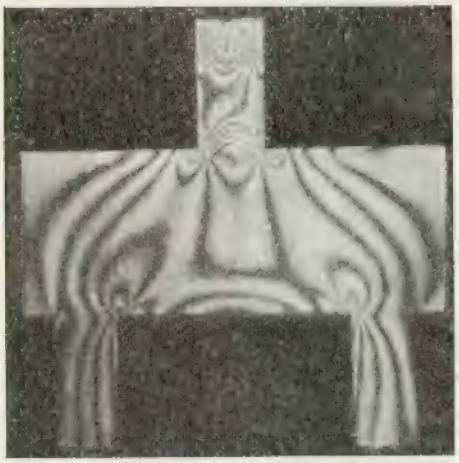


Figura de interferência obtida no estudo dum modelo duma viga apoiada sobre duas colunas e que recebe uma carga por intermédio doutra coluna. Estudo feito no Centro de Estudos de Engenharia Civil (I. A. C.)

7. Entre os métodos experimentais usados para a determinação de tensões sobre modelos tem importancia especial o baseado na Fotoelasticidade, capítulo da Física que nasceu com a descoberta de Brewster, em 1816, da birefringência acidental dos corpos transparentes quando deformados.

Neste método observam-se em luz polarizada, linear e circularmente, modelos transparentes, geralmente de vidro ou de plásticos, das construções. Quando se aplicam as forças ao modelo aparecem franjas de interferência, coloridas quando se trabalha em luz não monocromática, das quais se pode deduzir completamente o estado de tensão no modelo, no caso de se tratar dum equilíbrio a duas dimensões.

Nos últimos dez anos físicos e engenheiros têm-se esforçado, ainda sem completo sucesso, em generalizar o método da Fotoelasticidade para a determinação de tensões nos equilíbrios a três dimensões ([1]).

O método da Fotoelasticidade tem grande valor pedagógico em virtude de permitir um ensino visual da Mecânica dos Sólidos Deformáveis.

O fenómeno da birefringência acidental por deformação permitiu ainda o desenvolvimento, muito recente, dum método especialmente adequado para a determinação de tensões na superfície das obras de betão. Este método consiste na observação da birefringência, provocada pelas tensões desenvolvidas na obra, de pequenos discos de vidro introduzidos na massa do betão junto da sua superfície ([2]).

8. A Teoria da Elasticidade e a Resistência dos Materiais baseiam-se na hipótese de as deformações serem perfeitamente elásticas, isto é, reversíveis, e proporcionais às tensões (lei de Hooke). Mas, por via de regra, mesmo para as tensões relativamente baixas a que os materiais estão correntemente submetidos nas construções, as deformações não são perfeitamente elásticas, isto é, são em parte irreversíveis, e não são proporcionais às tensões. Estas

([1]) Júlio Ferry E. S. Borges, *Estudo experimental do campo de tensões pela rotura duma camada aderente*, publicação n.º 4 do Centro de Estudos de Engenharia Civil, separata da *Técnica*, n.º 168, Novembro 1946.

([1]) Manuel Rocha, *A fotoelasticidade nos equilíbrios elásticos de revolução*, «Técnica», n.º 115, Dezembro 1940.

([2]) António de Sousa Coutinho, *Determinação de tensões no betão pelo método do tensómetro fotoelástico*, publicação n.º 5 do Centro de Estudos de Engenharia Civil, separata da *Técnica*, n.ºs 169 e 170, Dezembro 1946 e Janeiro 1947.

deformações, chamadas plásticas, são por isso duma grande importância para a Engenharia Civil.

Não se conhecem, contudo, as leis gerais da deformação plástica apesar de, depois de Tresca, em 1864, ter apresentado os primeiros resultados experimentais, muitos físicos que estudam o estado sólido se terem interessado pelo seu estabelecimento.

Dado o grande interesse que tem o assunto, também numerosos engenheiros se têm dedicado à investigação no campo da plasticidade. Porém, a orientação da investigação dos físicos e engenheiros tem sido muito diferente, como sucede sempre que atacam o mesmo problema. De facto, o engenheiro o que deseja é estabelecer as relações de interesse imediato, em virtude das necessidades prementes das aplicações, pois ele tem de construir quer conheça ou não as leis, ao passo que o físico pretende ir mais fundo, para estabelecer as leis gerais do fenómeno, as relações deste com a estrutura da matéria.

Com o estudo da plasticidade está intimamente relacionado outro fenómeno, o da rotura dos sólidos, cujo conhecimento é essencial para o engenheiro, pois ele pretende sempre evitar a rotura das construções.

A Física do Estado Sólido tem-se ocupado sobretudo do estudo da plasticidade e da rotura nos metais, sendo de grande interesse para o engenheiro os resultados obtidos nos últimos vinte anos, pois eles vieram esclarecer muitos fenómenos que, apesar de conhecidos, não podiam ser interpretados.

A Física consegue calcular a tensão de rotura e as constantes elásticas duma substância, desde que sejam conhecidas as forças actuantes entre os seus átomos ou iões. Mas constata-se que, enquanto é boa a concordância entre as deformações calculadas e medidas, os valores da tensão de rotura medidos são sòmente cerca de $\frac{1}{500}$ a $\frac{1}{1000}$ dos valores calculados [1].

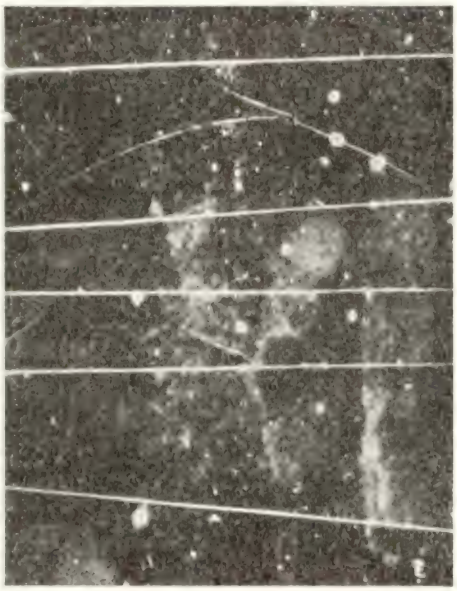
Se os valores das tensões de rotura dos sólidos fossem os dados pelo cálculo, bastariam algumas cordas de piano para suportar uma ponte suspensa, e uma barragem com uma centena de metros de altura bastaria que tivesse alguns centímetros de espessura.

Por aqui se poderá avaliar a extraordinária repercussão que teria a produção industrial de sólidos com tensões de rotura vizinhas das previstas pela Física. E a esperança não é vã.

De facto, Joffé conseguiu obter com o sal gema, ensaiado em certas condições, tensões de rotura de 160 Kg/mm², muito superiores às correntemente observadas e muito vizinhas da teórica, que é de 200 Kg/mm².

Ainda mais: com fios finos de vidro, obtidos por estiragem conduzida sem quaisquer cuidados especiais, obtêm-se tensões de rotura mais elevadas do que com o melhor aço, com a enorme vantagem para o construtor de o peso específico do vidro ser cerca de três vezes menor do que o do aço.

Dos trabalhos dos físicos sobre o estado sólido conclui-se que a causa do baixo valor das tensões de rotura observadas reside em defeitos da estrutura, designados por Smekal por «Lockerstellen», pequenas fendas que determinam concentrações de tensões elevadíssimas. Portanto, o problema que se põe é este: poder-se-ão evitar esses defeitos?



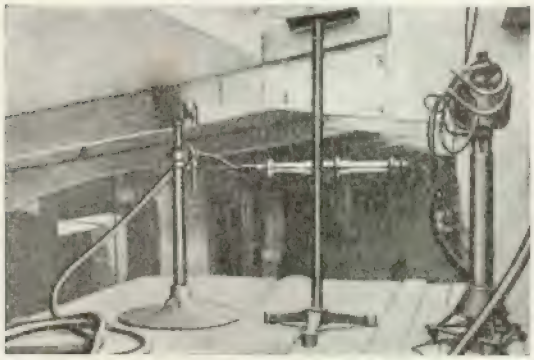
Fendas superficiais reveladas por meio de vapor de sódio no vidro Pirex. Resultado obtido em 1937 pelo físico inglês Costa Andrade, que assim confirmou experimentalmente a hipótese, emitida muito antes, da existência de defeitos de estrutura

[1] Houwink, *Elasticity, Plasticity and Structure of Matter*, Camb. Univ. Press, 1937, Capítulo II.

Talvez não venha longe a época em que se substitua o aço pelo vidro!

9. A Física do Estado Sólido tem ainda concorrido para dar coerência aos Ensaios de Materiais, disciplina cuja finalidade é a determinação das propriedades dos materiais usados nas construções, e que até há pouco era constituída exclusivamente por uma série de normas empíricas.

Além disso, vários ramos da Física têm concorrido para o progresso dos Ensaios de Materiais. Assim, é hoje corrente a determinação de singularidades na estrutura dos materiais com raios X e gama (1), a detecção de pequenas fendas em metais ferro-magnéticos com o



Instalação de raios X colocada para a determinação da posição das armaduras numa construção de betão armado

auxílio dum campo magnético, e a determinação das constantes elásticas com o auxílio de ultra-sons. Estes, recentemente (2), foram também utilizados para a determinação da posição das armaduras numa peça de betão armado, determinação que permitiu controlar a perfeição com que a peça foi executada.

10. Não só a Mecânica dos Sólidos, à qual nos temos vindo a referir, presta serviços na resolução dos problemas de Engenharia Civil. Também com frequência há necessidade de recorrer à Mecânica dos Líquidos, quer para a determinação das acções dos líquidos sobre as construções, como, por exemplo, pressão duma corrente sobre os pilares duma ponte e pressão das ondas sobre um molhe, quer para a determinação das suas condições de escoamento em cursos de água, canais, canalizações, ou ainda para o estudo do transporte de materiais sólidos em suspensão ou por arrastamento.

Na Mecânica dos Líquidos a Hidráulica Gera está, em relação à Hidrodinâmica, numa posição análoga à da Resistência dos Materiais em relação à Teoria da Elasticidade. Contudo, enquanto na Mecânica dos Sólidos os problemas de maior interesse para o engenheiro civil são estáticos, na Mecânica dos Líquidos são dinâmicos. Desta circunstância resulta uma maior dificuldade na obtenção de soluções satisfatórias, sendo por isso muito frequente a necessidade de recorrer na Hidráulica a resultados empíricos.

Até ao fim do século XIX a Hidrodinâmica, estruturada por matemáticos (Euler, Lagrange, Navier e Stockes), e a Hidráulica Geral, constituída empìricamente durante séculos sob a pressão das necessidades de realização das construções hidráulicas, seguiram vias muito diversas, pràticamente sem pontos de contacto. Foi graças à actividade de físicos, sobretudo Reynolds, que se conseguiu a harmonização dos resultados daquelas duas disciplinas, o que trouxe a possibilidade da obtenção não só de resultados de base científica segura com interesse nas aplicações, mas também a duma compreensão muito mais perfeita dos fenómenos de escoamento dos fluidos.

Para a resolução dos problemas de Hidráulica recorre-se também frequentemente a métodos experimentais, sendo contudo aqui mais difícil satisfazer as exigências da semelhança mecânica.

11. Há ainda um outro capítulo da Mecânica, de constituição muito recente, com grande interesse para a Engenharia Civil. É a chamada Mecânica dos Solos, que estuda os sistemas de pequenas partículas, como argilas e areias.

O seu interesse resulta do facto das fundações das construções serem com frequência feitas sobre terrenos com tal constituição, de ser necessário conhecer em muitos problemas as condições de equilíbrio de tais sistemas e, além disso, de eles servirem como material

(1) Hahnshaw, *The technique of gamma radiography*, Engineering n.º 4206, 23 Agosto 1946, pág. 169.

(2) Trabalho em curso no Eidgenössische Materialprüfunganstalt de Zürich.

para a construção de certas obras, como as barragens de terra.

Coulomb, Navier e Rankine estabeleceram os primeiros resultados da Mecânica dos Solos, tratando-os à luz dos resultados clássicos da Mecânica dos Sólidos Deformáveis. Foi só nas duas últimas décadas, depois de um engenheiro, Terzaghi, ter feito voltar as atenções para o papel importante que desempenham as películas líquidas que separam as partículas dos terrenos, que a Mecânica dos Solos entrou em franco desenvolvimento, só possível, aliás, graças aos conhecimentos fornecidos pela Física acerca dos fenómenos de superfície nos líquidos e sólidos, particularmente dos fenómenos capilares.

Vem a propósito referir que as tensões provenientes dos fenómenos capilares que se produzem nas construções de betão e nas de madeira, materiais que são atravessados por uma rede de canais capilares, são muitas vezes responsáveis pelas fracturas (fendas) que frequentemente se observam, pois essas tensões podem ser muito mais elevadas do que as devidas às forças aplicadas.

12. Ao tratar das relações entre a Física e a Engenharia Civil, não deve deixar de se citar o concurso daquela ciência para a melhoria das condições de habitabilidade dos edifícios, sem o qual não teria sido possível o condicionamento automático do ar ambiente quanto a temperatura e humidade, a boa iluminação e as boas condições acústicas. São problemas de grande interesse para o engenheiro civil, embora a sua resolução esteja hoje, em grande parte, entregue a engenheiros doutras especialidades.

Para fugir às irregularidades das condições atmosféricas, nota-se hoje a tendência para o edifício sem janelas, no interior do qual as condições podem ser reguladas à vontade.

ACABA DE APARECER:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENG.º CARVALHO XEREZ

Normalização do sinal da potência reactiva

C. D. 621.3 : 537.726

O comité de normas da A. I. E. E. (American Institute of Electrical Engineers) actuou junto do comité da A. S. A. (American Standards Association) para que o sinal da potência reactiva, actualmente adoptado (definição 05.21.050. I incluída no «American Standard Definitions of Electrical Terms») fosse invertido.

Como, porém, a secção que superintende nas definições de termos eléctricos se está organizando e não pode de momento decidir, torna-se interessante que todos conheçam a posição do problema.

É mesmo o comité de Normas da A. I. E. E. que pede lhe sejam enviadas opiniões sobre o assunto.

No que se segue foca-se bem a questão, tendo as informações sido colhidas na revista *Electrical Engineering*, n.º 11 — 1946.

Potência activa, reactiva e aparente

Sabemos que se aplicarmos aos terminais dum circuito uma tensão alternada sinusoidal ele vai ser percorrido por uma corrente alternada sinusoidal da mesma frequência, se as características do circuito se mantiverem constantes.

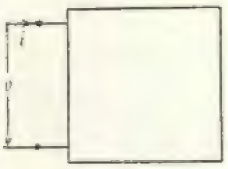


Fig. 1

Sendo os valores instantâneos da tensão e corrente

$$v = Vm \,.\, \text{sen}\,(\omega t \pm \varphi) = \sqrt{2}\,.\,V\,.\,\text{sen}\,(\omega t \pm \varphi)$$

$$i = Im \,.\, \text{sen}\,\omega t = \sqrt{2}\,.\,I\,\text{sen}\,\omega t$$

podemos definir como *valor instantâneo da potência:*

$$(1)\quad p = v\,.\,i = 2\,V\,.\,I\,.\,\text{sen}\,(\omega t \pm \varphi)\,.\,\text{sen}\,\omega t$$
$$= V.I.[\cos\varphi - \cos(2\omega t \pm \varphi)]$$
$$= VI\,[\cos\varphi - \cos 2\omega t\,\cos\varphi \mp \text{sen}\,2\omega t\,.\,\text{sen}\,\varphi]$$

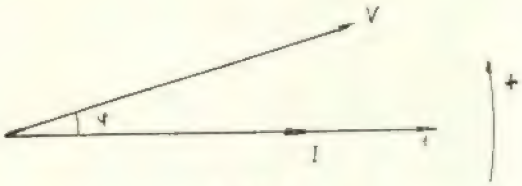


Fig. 2

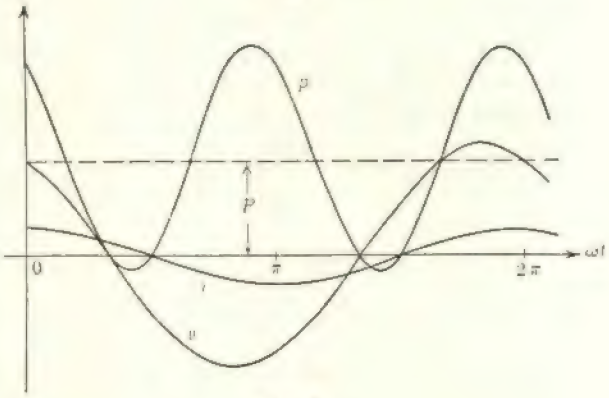


Fig. 3

Teremos, portanto, finalmente

$$(2)\quad p = VI\cos\varphi\,(1 - \cos 2\omega t) \pm VI\,\text{sen}\,\varphi\,.\,\text{sen}\,2\,\omega t$$
$$= P\,(1 - \cos 2\,\omega t) + Q\,.\,\text{sen}\,2\,\omega t = A + B$$

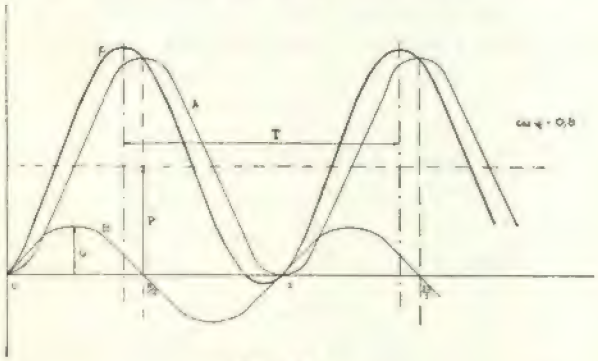


Fig. 4

Vemos assim que o valor instantâneo da potência é igual à soma de duas parcelas:

A primeira oscilando com uma frequência 2ω em torno do valor médio $VI.\cos\varphi$ e que equivale ao efeito de joule no circuito.

A segunda oscila também com uma frequência 2ω mas em torno do valor médio zero, e equivale a uma oscilação da energia entre o gerador e o circuito.

O valor médio da potência instantânea é a chamada *potência activa* ou simplesmente potência

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T v.i.dt = V.I.\cos\varphi -$$

$$- VI\frac{1}{T}\int_0^T \cos(2\omega t + \varphi)\,dt$$

Como o valor médio do segundo termo é nulo, este valor da potência é-nos dado pelo valor médio da primeira parcela de p.

(3) $P = V.I.\cos\varphi$ Medido em watts (Volts-ampères activos)

chama-se *potência reactiva* (*) ao valor máximo da segunda oscilação que é:

(4) $Q = VI.\text{sen}\,\varphi$ Medido em vars (Volts-ampères reactivos)

A *potência aparente* será o produto:

(5) $$P_A = V.I$$

Ela representa a soma vectorial de P e Q.

Atendendo à expressão (2) deduzida para valor de potência instantânea, constatamos que o sinal a dar a Q resulta da convenção de sinais a arbitrar na marcação dos ângulos de desfazagem entre os valores eficazes da tensão e corrente.

Existem duas formas de definir o sinal da potência reactiva, uma baseada no circuito em série e outra no circuito em paralelo.

A primeira é a recomendada agora ao A. I. E. E. e a segunda é a norma actual.

Vejamos como se define cada uma delas.

Circuito em série

Vamos supor que o circuito submetido à tensão alternada sinusoidal de valor eficaz V é um simples circuito série, de resistência R_s e reatância X_s, constantes.

A corrente que percorre o circuito será alternada sinusoidal de valor eficaz I, tal que:

$$\vec{V} = Z.\vec{I}$$

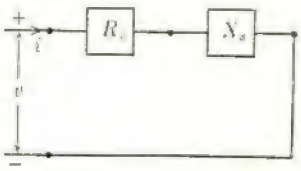


Fig. 5

sendo $Z = R_s + jX_s$ e o ângulo de desfazagem entre $\vec{V}$ e $\vec{I}$

$$\varphi = \text{arctg}\,\frac{X_s}{R_s}$$

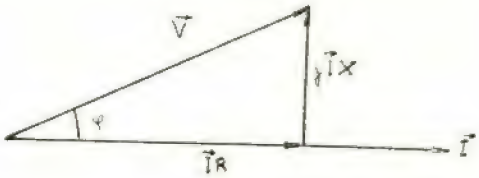


Fig. 6

A equação vectorial do circuito é:

$$\vec{V} = R_s\vec{I} + jX_s.\vec{I}$$

do diagrama de vectores obtemos

$$I.R_s = V\cos\varphi$$

$$I.X_s = V\,\text{sen}\,\varphi$$

e pelo que já sabemos, será:

(6) $$P_s = VI\cos\varphi = R_s.I^2$$

(7) $$Q_s = VI\,\text{sen}\,\varphi = X_s.I^2$$

Para que a expressão de Q esteja correcta é necessário que os ângulos φφ se marquem positivamente no sentido directo e a partir da corrente.

(*) Alguns autores preferem dramar

Potência flutuante activa à parcela

$$VI\cos\varphi.\cos 2\omega t$$

Potência flutuante reactiva à parcela

$$VI\,\text{sen}\,\varphi.\text{sen}\,2\omega t$$

Ver «Teoria general de las corrientes alternas» — A. R. Rodriguez — pág. 69.

Então para uma reactância indutiva a potência reativa será positiva e para uma reactância capacitiva, negativa, como se vê pelos diagramas da fig. 6.

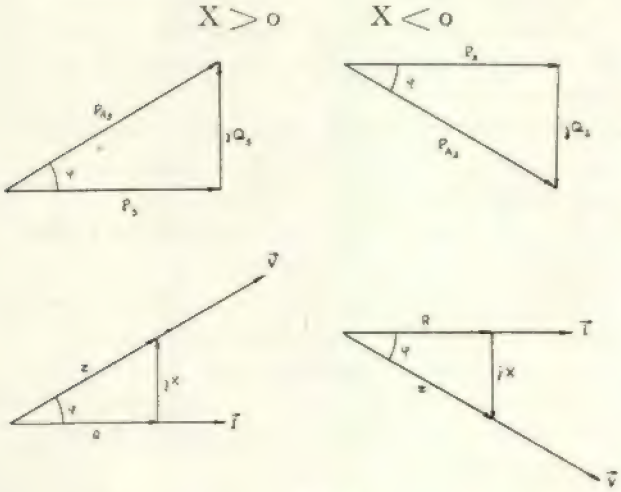


Fig. 7

A potência aparente será então dada por:

(8) $P_{A_s} = P_s + j\,Q_s = R_s\,I^2 + j\,X_s\,I^2 = Z\,.\,I^2$

Circuito em paralelo

Nas mesmas condições, sabemos que para que este circuito seja equivalente ao série, terá de ter uma admitância:

$$Y = G_p + j\,.\,B_p$$

ora como

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{R_s + j\,X_s}$$

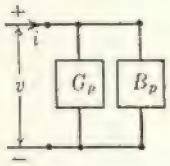


Fig. 8

teremos

$$G_p = \frac{R_s}{R^2_s + X^2_s} \text{ (condutância)}$$

$$B_p = -\frac{X_s}{R^2_s + X^2_s} \text{ (susceptância)}$$

Vemos assim, que se a reactância X é positiva a susceptância é necessàriamente negativa.

Podemos deste modo, exprimir a relação entre V e I:

$$\vec{I} = Y\,.\,\vec{V}$$

Então para expressões da potência activa e reactiva temos:

(9) $P_P = V\,I\,.\cos\varphi = G_p\,V^2$

(10) $Q_P = V\,.\,I\,.\,\text{sen}\,\varphi = B_P\,.\,V^2$

pois sendo $P_A = V\,.\,I = P_p + j\,Q_p$ e atendendo ao valor da admitância temos

$$P_{A_p} = V^2\,.\,Y = V^2\,.\,G_p + j\,V^2\,.\,B_p$$

Para que as expressões (9) e (10) se verifiquem temos que considerar positiva a potência reactiva quando o circuito tiver uma reactância capacitiva ($X < 0$).

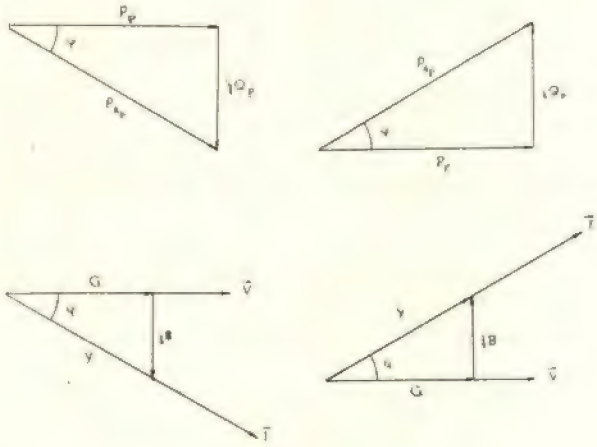


Fig. 9

A potência reactiva num circuito em paralelo deve ser considerada positiva quando a corrente está avançada em relação à tensão.

Resumo:

Se o sinal da potência reactiva está definido baseando-nos no circuito em série e por analogia com a impedância, o seu valor numérico terá o sinal oposto ao que teria se a potência reactiva fosse definida por analogia com a admitância, considerando o circulto em paralelo.

Em ambos os casos a potência real é a mesma.

Na primeira definição a potência reactiva absorvida por uma carga indutiva é positiva; se se escolhe a segunda definição a potência reactiva absorvida por uma carga indutiva é negativa.

Qualquer destas 2 convenções pode ser adoptada como norma.

A segunda é a que foi reconhecida pela Comissão Electrotécnica Internacional e tem estado oficializada até hoje, mas pretende-se por razões práticas adoptar como norma oficial a segunda.

Ver abaixo a diferença entre as duas convenções.

Por analogia com a impedância:	*Por analogia com a admitância:*
Diagrama de vectores da potência, semelhante ao diagrama da impedância e à imagem do diagrama da admitância.	Diagrama de vectores da potência, semelhante ao diagrama da admitância e à imagem do diagrama da impedância.

Considerações práticas:

São várias as que influem na alteração que se pretende fazer, e vamos ràpidamente citá-las:

1.ª — Em geral as cargas industriais são indutivas e absorvem potência real positiva e potência reactiva indutiva.

2.ª — Se a potência reactiva indutiva for considerada positiva, tanto a passagem de potência real como de reactiva, produzem quedas de tensão na direcção da corrente, nos circuitos normais.

3.ª — As perdas, tanto da potência real como da reactiva são positivas nos circuitos mais vulgares.

4.ª — Nos geradores síncronos, o aumento da excitação leva a aumentar a potência reactiva fornecida.

5.ª — As indicações dos watímetros e dos varmetros são mais coordenadas. Com esta convenção as leituras nos dois aparelhos eram feitas para a direita em escalas crescentes.

6.ª — A grande maioria dos estudos de redes de corrente alterna têm sido feitos com esta convenção, fugindo por razões práticas, à norma oficial.

Por tudo isto o Comité de Standars da A. I. E. E. recomenda que a «American Standards Association», actuando nos E. U. A. adopte a troca. Na sua opinião, só então o termo «potência reactiva» expressará o actual conceito, tal como ele se emprega geralmente em engenharia electrotécnica.

São pedidos comentários sobre o assunto, que se devem dirigir por carta para a secretaria do A. I. E. E. — Standards Comité, 33 West 39 th Street New York, 18, N. Y.

ACABA DE APARECER:

TOPOGRAFIA GERAL

PELO ENG.º CARVALHO XEREZ

BIBLIOTECA

Pedimos a todos os sócios da Associação, que possuem, requisitados, livros da nossa Biblioteca, o favor de os entregar o mais ràpidamente possível.

Depende da satisfação deste nosso pedido, a reorganização dos serviços da Biblioteca.

LIVROS

Todos os livros aqui indicados, são pertença da Biblioteca da A. E. e podem ser consultados a partir desta data.

C. D. 621.3.025 (01)

Teoria general de las corrientes alternas

Prof. ANTONIO ROBERT RODRIGUEZ

Editor, Manuel Marin — Barcelona — 1947
75 pst. — 386 pág.

I — Estudio analitico de las corrientes alternas
II — El Cálculo Vectorial
a) Corrientes alternas monofasicas
b) Las corrientes trifasicas
c) Aplicaciones
III — Apendice
Nociones de geometria analitica; Funciones periodicas; El metodo vectorial.

Todos nós temos sentido já, como nos é útil, depois de termos adquirido sob vários aspectos os fundamentos de determinado ramo de conhecimentos, possuir um elemento que os reuna e possa ser consultado com segurança.

Este é um dos fins conseguidos por este livro. Nele se acham expostos com clareza todas as leis e princípios, assim como exemplos práticos respeitantes às correntes alternas.

Possui ainda um interessante e desenvolvido capítulo com os elementos de geometria analítica, matemática e cálculo vectorial de uso constante na electrotecnia.

Para esta parte do livro chamamos a atenção dos interessados, dado ser um aspecto pouco considerado pelos diversos autores da especialidade.

J. T.

C. D. 621.282.2

Normas de tornillos, tuercas y acesorios

Editorial Balzola — Bilbao

C. D. 621.7

Instrucciones de medida, trazado e limado — 1946

Editado pelo Departamento III (Medios de Enseñanza) e distribuído pela Editorial Balzala, Bilbao

Nestas instruções estudam-se: as características de cada tecnologia dadas pela prática; a aplicação e tratamento das ferramentas necessárias em cada caso; as indicações de oficina mais importantes para a execução do trabalho.

Para evitar extensão no desenvolver das ideias, foram adoptados processos gráficos.

REVISTAS

	C. D.	
Aeroplane (The) . . . . . n.os 1856, 1857, 1858, 1859, 1860, 1861	629.13	Inglaterra
Agronomia Lusitana . . . . . n.os 1-2.	631	Portugal
Aircraft Engineering . . . . . n.os 214, 215.	629.13	Inglaterra
Análise . . . . . n.º 4.	51/54	Portugal
Arbor . . . . . n.º 16.	1:2:3:7:8	Espanha

	C. D.	
Bulletin du Congres des Chemins de Fer . . . . . n.º 8.	625	Bélgica
Boletim Geral das Colónias . . . . . n.º 258.	3:9	Portugal
Boletim da Junta Nacional da Cortiça . . . . . n.ºs 97, 98.	679	Portugal
Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa . . . . n.ºs 9, 10.	6:9	Portugal
Brotéria . . . . . fasc. 6 (1946), fasc. 1 (1947).	1:2:3:7:8	Portugal
Cemento. . . . . n.ºs 153, 154.	666.98	Espanha
Ciencia y Tecnica . . . . . n.º 534.	62/69	Argentina
Civil Engineering . . . . . n.º 486.	62/69	Inglaterra
Dyna . . . . . n.º 12.	62/69	Espanha
Engenheiro Westingouse (O) . . . . . n.º 1.	621.3	E. U. A.
Estudos . . . . . n.ºs 251, 252.	1:2:3:7:8	Portugal
Gazeta dos Caminhos de Ferro . . . . . n.ºs 1417, 1418.	385	Portugal
Gazeta de Matemática . . . . . n.ºs 29, 30.	51	Portugal
Gil Vicente . . . . . n.ºs 11, 12.	1:2:3:7:8	Portugal
Indústria Portuguesa . . . . . n.º 224.	62/69	Portugal
Indústria e Técnica . . . . . n.ºs 10, 11.	62/69	Portugal
Informaciones Iram. . . . . n.ºs 9, 10.	389.6	Argentina
Ingenieria (La) . . . . . n.º 863.	62	Argentina
Ossature Metalique . . . . . n.º 1.	624.014	Bélgica
Rumo . . . . . n.º 5.	1:2:3	Portugal
Revista de Artilharia . . . . . n.º 259.	623	Portugal
Revista de Camiños . . . . . n.ºs 7-8, 9-10.	625	Chile
Revista da Faculdade de Engenharia do Porto . . . n.º 2.	62	Portugal
Revista das Obras Publicas . . . . . n.º 2781.	624/628	Espanha
Revista da Ordem dos Engenheiros . . . . . n.º 35.	62	Portugal
Seara Nova . . . . . n.ºs 1013 a 1019.	3:7:81 (07)	Portugal
Tecnica Metalurgica . . . . . n.º 14.	62/69	Espanha

FICHEIRO

Sob esta rubrica, figuram só, as fichas dos artigos que nos mereceram maior atenção e estão contidos nas revistas recebidas nesta biblioteca.

Esperamos muito em breve, poder pôr à disposição dos nossos leitores os serviços do ficheiro respeitante às revistas que possuímos.

Ensino

C. D. 37

Notas histórico pedagógicas sobre o Instituto Superior Técnico — *Alfredo Bensaúde.*

Técnica, 1-947, n.º 170, págs. 99/108.

C. D. 371.1

Reforma universitária de estructura — *Durelli, A. J.*

Ciencia y Técnica, vol. 107, n.º 533, 1946, págs. 430/440.

El autor analiza la estrnctura legal actual de la universidad argentina, y sostiene la urgente necesidad de la creación de numerosas universidades realmente libres.

Caminhos de Ferro

C. D. 385. (09) (.494)

Les chemins de fer federoux suisses pendant la guerre — *M. G. Dreyer.*

Bulletin du Congress des Chemins de Fer, 11-946, vol. XXIII, n.º 8; págs. 389/408.

Transportes

C. D. 388.4

Algunas ideas sobre circulacion urbana — *Miguel Martinez Catena.*

Revista de Obras Públicas, 1-947, n.º 2781, págs. 25/31.

Normalização

C. D. 389.6:629.1

Regulamentacion del transito en los caminos y ciudades del pais — *Ing. Don Luiz Alvarez H.*

Revista de Caminos, 7-8-946, n.º 7-8, págs. 192/194.

Este artigo apresenta um estudo resumido do que pode e deve ser aplicado no Chile para a regulamentação do trânsito urbano.

1.º — Objectivos.

2.º — Atribuições.

Projecto de regulamentação:

A — Proibições.

B — Obrigações.

C — Recomendações gerais.

D — Sanções.

C. D. 389.6

La normalización en la indústria de la fundición — *Douchin M.*

Informaciones. Iram, 10-946, vol. x, n.º 10, págs. 360/361.

Traduzido da Revista Courrier de Normalisation — Paris.

Contém considerações gerais acerca do problema da normalização na indústria da fundição, em França.

Matemática

C. D. 51

A noção de número real — *Andrade Guimarães, L. Neves Real.*

Gazeta da Matemática, 11-946, n.º 30, págs. 15/17.

C. D. 51

Estrutura da divisibilidade dos inteiros — *J. D. Silva Paulo.*

Gazeta da Matemática, 11-946, n.º 30, págs. 17/18.

C. D. 51:57

Mathematiques et biologie — *G. Teissier.*

Gazeta da Matemática, 11-946, n.º 30, págs. 6/13.

Geodesia

C. D. 526.0

Cuatro campañas geodésicas en la zona cordillerana, etc. — *Baglietto, E. E.*

Ciencia y Técnica, vol. 107, n.º 533, 1946, págs. 402/429.

Continuando la publicación de los trabajos realizados en la zona cordillerana de la provincia de Mendoza por los alunos de la cátedra de Geodesia, terminamos con la medida, cálculos y precisión de la base de Uspallata, su correción por diferencia de gravedad y su reducción al nivel del mar, dando finalmente los resultados de la medición angular en el cuadrilátero de ampliación de la base.

Mecânica Racional

C. D 531

Noções topológicas num espaço métrico — *António Sales Luís.*

Técnica, 1-947, n.º 170, págs. 143-146.

Calor. Termodinâmica

C. D. 536.24 + 536.25

Transmisión del calor por conductibilidade y por convección — *Carlos C. Zarate, Juan M. Franconetti.*

Ingenieria (La), 9-946, n.º 863, págs. 579/600.

Estudo sobre os gradiantes de temperatura na transmissão de calor. Útil e completa tabela de coeficientes de condutibilidade. Boa bibliografia do assunto.

Electricidade

C. D. 537.11:51

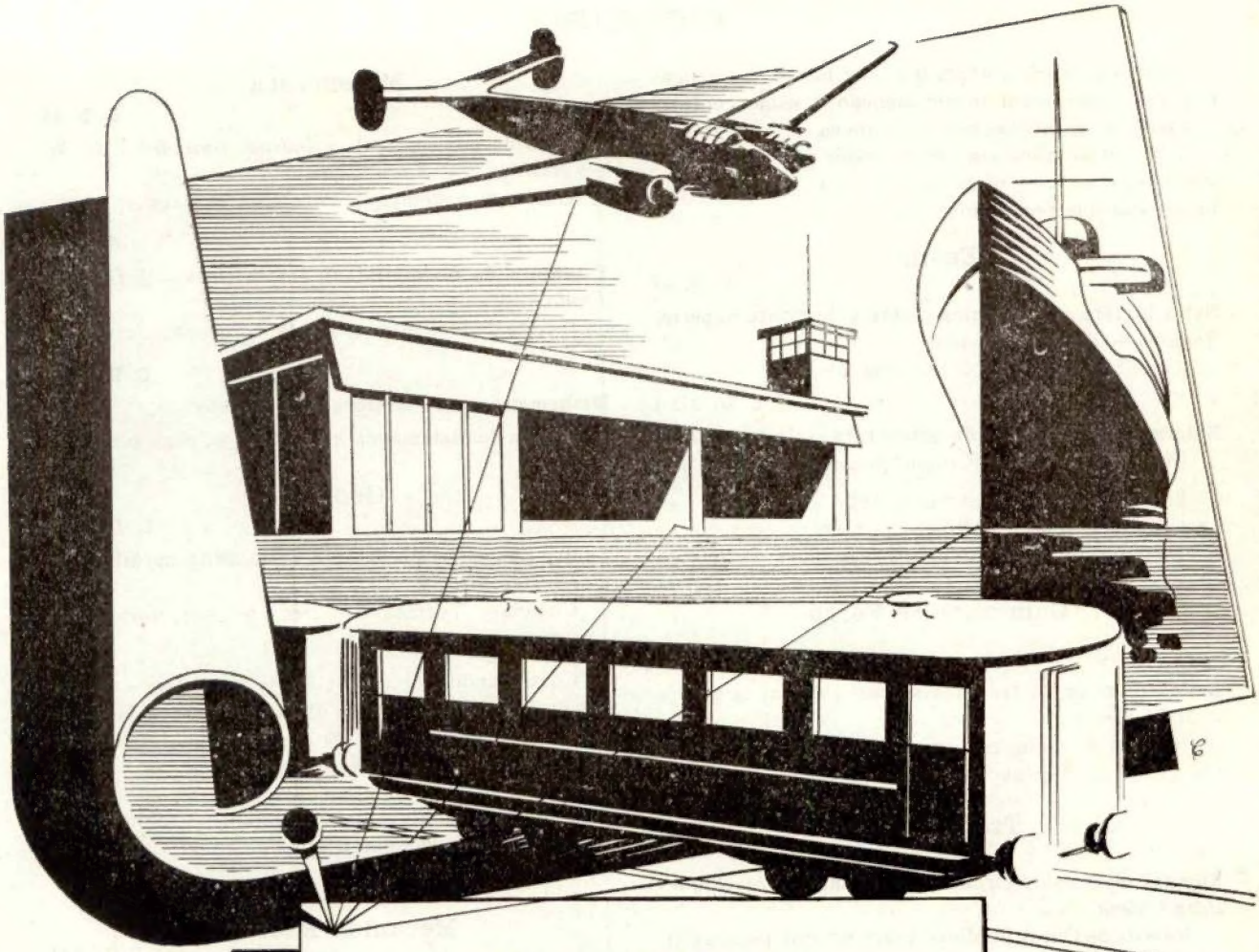
Representacion de las potencias en los diagramas circulares — *D. Emilio S. Spinedey.*

Leciones sobre Electrotecnia, 1-942, págs. 170/178.

C. D. 537.11:51

Estudio de los circuitos desequilibrados por sus coordenadas simetricas — *D. Emilio S. Spinedy.*

Leciones sobre Electrotecnia, 1-942, págs. 179/200.



MADEIRAS

por excelência especiais para contra-placados próprios para a construção de aviões e infraestruturas, adornos interiores de carruagens de caminhos de ferro, construções navais e mobiliário.

DUARTE & REIS, L.DA

Importadores e Exportadores

telegramas BISSILON

RUA DA PALMA, 40, 2.º

LISBOA

telefone 30179

C. D. 537.11:51

La inversion y los lugares geometricos aplicados al calculo de circuitos de impedancia variable (Leccion I) — *D. Emilio Siegrist Spinedey.*

Leciones sobre Electrotecnia, 1-942, págs. 155/169.

Magnetismo. Electrodinâmica

C. D. 538.33:537.52
621.318.24

Magnetizador de imanes permanentes, mediante descargas de condensadores — *F. Braislford.* (De Engineering, 16-8-946).

Revista de Obras Públicas, 1-947, n.º 2781, págs. 41/42.

Física Molecular e Atómica

C. D. 539.15

Aproveitamento da energia atómica — *Armando Gibert.*

Técnica, 1-947, n.º 170, págs. 109/122.

C. D. 539.4

La resistência a la flexion de las piezas de madera escuadradas y simplesmente apoyadas — *Durrien, Ing. Civil Mauricio.*

Ciencia y Técnica, 11-946, vol. 107, n.os 533-534, págs. 345/382, 441/482.

Com base em ensaios de flexão efectuados em provetas de madeira de secção rectangular, livremente apoiadas e carregadas no ponto médio, o autor estruturou uma teoria de flexão, — considerada como um fenómeno tridimensional, — susceptível de ser generalizada a diferentes condições de sustentação e cargas, e a outros materiais.

Mediante os resultados alcançados, o autor dá os processos de cálculo das ditas peças.

Encara-se a possível discriminação dos efeitos do esforço cortante, e a sua particular influência na resistência das mesmas.

Finalmente, trata-se da intervenção do *vão* nos cálculos.

C. D. 539.4:621.3

Extensómetro fundado en la variacion de resistencia electrica — *Anónimo.* (De Engineering, 9-8-946).

Revista de Obras Públicas, 1-947, n.º 2781, págs. 40/41.

Química Analítica

C D. 543.8:547.91

Óleos de resina (Ensaios de laboratório) — *Henrique Serrano.*

Revista da Faculdade de Engenharia, 12-946, vol. XII, n.º 2, págs. 86/93.

Engenharia

C. D. 6 (42) 09
C. D. 62 (42) (071.1)

A Técnica — seu progresso e ensino *S. J. Davies.*

Revista da Ordem dos Engenheiros, 11-946, n.º 35, págs. 664/673.

Construção Mecânica

C. D. 621.165-155

Turbines a vapeur radiales à double rotation avec aubrage multidisque — *Anónimo.*

Asea Revue, 1-5-946, n.os 1-3, págs. 40/43.

Electricidade Industrial

C. D. 621.3

La Electricidade aplicada a la industria — *D. Emilio S. Spinedy.*

Leciones sobre Electrotecnia, 1-942, págs. 201/215.

C. D. 621.3:537.726

El signo de la potencia reactiva — *Comité de la A. I. E. E.*

Dyna, 12-946, n.º 12, págs. 622/625.

Conceito de potência reactiva.

Escolha arbitrária do sinal da potência reactiva.

Considerações práticas para escolha do sinal da potência reactiva.

Assunto para ser discutido. As cartas devem enviar-se para a secretaria do A. I. E. E. Standards Comité 33 — West 39 th Street, New York, 18, N. Y.

C. D. 621.313 (01)

Elementos de la teoria general de la metadino transformadora — *Mario Viani Caballero.*

Leciones sobre Electrotecnia, 1-942, págs. 265/289.

Electrotecnia Geral

C. D. 621.311:621.316] (46)

Ordenacion de la produccion y distribucion de la energia electrica en España — *Carlos E. Montañes.*

Leciones sobre Electrotecnia, 1942, págs. 217/264.

C. D. 621.313

Realização pratica de la metadino — *Mario Viani Caballero.*

Leciones sobre Electrotecnia, 1-942, págs. 290/308.

C. D. 621.314.69

Le redresseur su à reglage avostatique combiné avec une baterie d'accumulateurs constitue la source auxiliaire de courant ideale — *Mo Lomn.*

Asea Revue, 1-5-946, n.os 1-3, págs. 33 39.

O novo método de carga; princípio de funcionamento do rectificador de regulação avostática; resultados da exploração; tipos normalizados de rectificadores secos de regulação avostática; vantagens sobre o sistema de carga tampão.

Electrotecnia Especial

C. D. 621.33:621.313

Aplicacion de la metadino a la traccion electrica — *Mario Viani Caballero.*

Leciones sobre Electrotecnia, 1-942, págs. 309/345.

"INSTRUMASTER"

GREENWICH — U. S. A.

ESQUADROS FLUTUANTES — Estes esquadros, cortados a partir de chapas de plástico transparente (Vinylite) são absolutamente indeformáveis com o tempo e não são inflamáveis. A superfície do esquadro fica afastada do papel por meio de saliências embutidas e por este motivo:

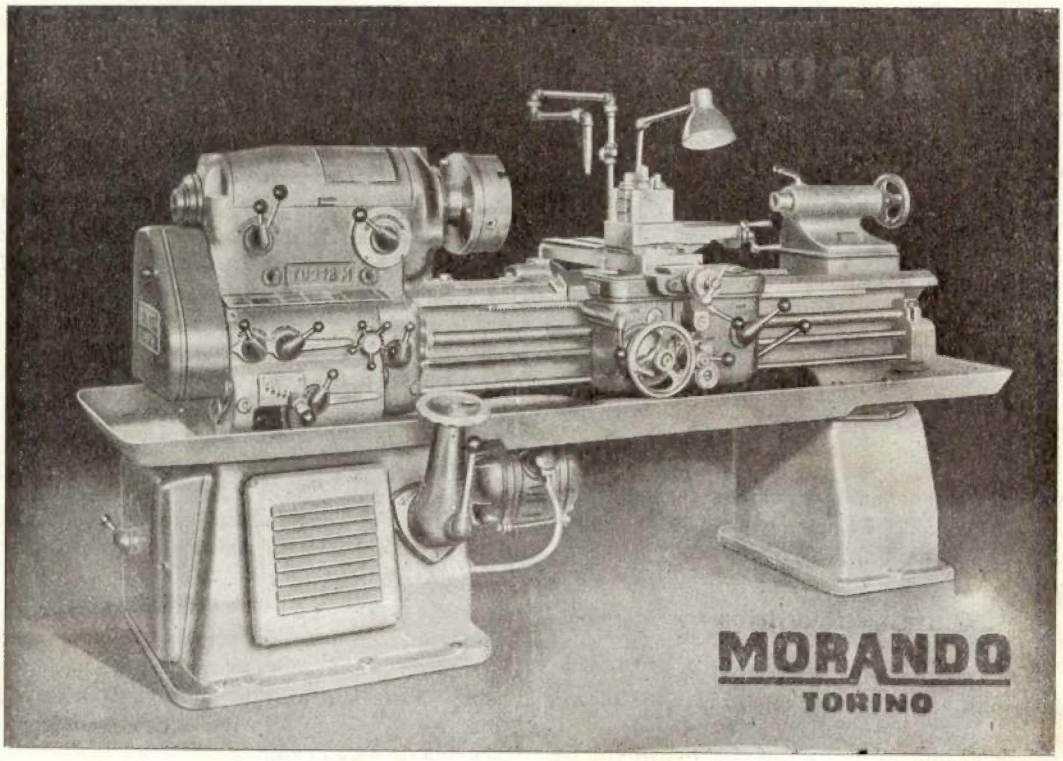
NÃO SUJAM O PAPEL
NÃO ALASTRAM O TRAÇO A TINTA
SÃO FACEIS DE AGARRAR

À VENDA NAS LOJAS DA ESPECIALIDADE

ESCANTILHÕES PARA DESENHO AXONOMÉTRICO

OFF. MECCANICHE MORANDO — TURIM

TORNOS PARALELOS RÁPIDOS ——— TORNOS SEMI-AUTOMÁTICOS



REPRESENTANTES:

• TERMO-MECANICA •

LIMITADA

PRAÇA JOSÉ FONTANA, 12-2.º **LISBOA**